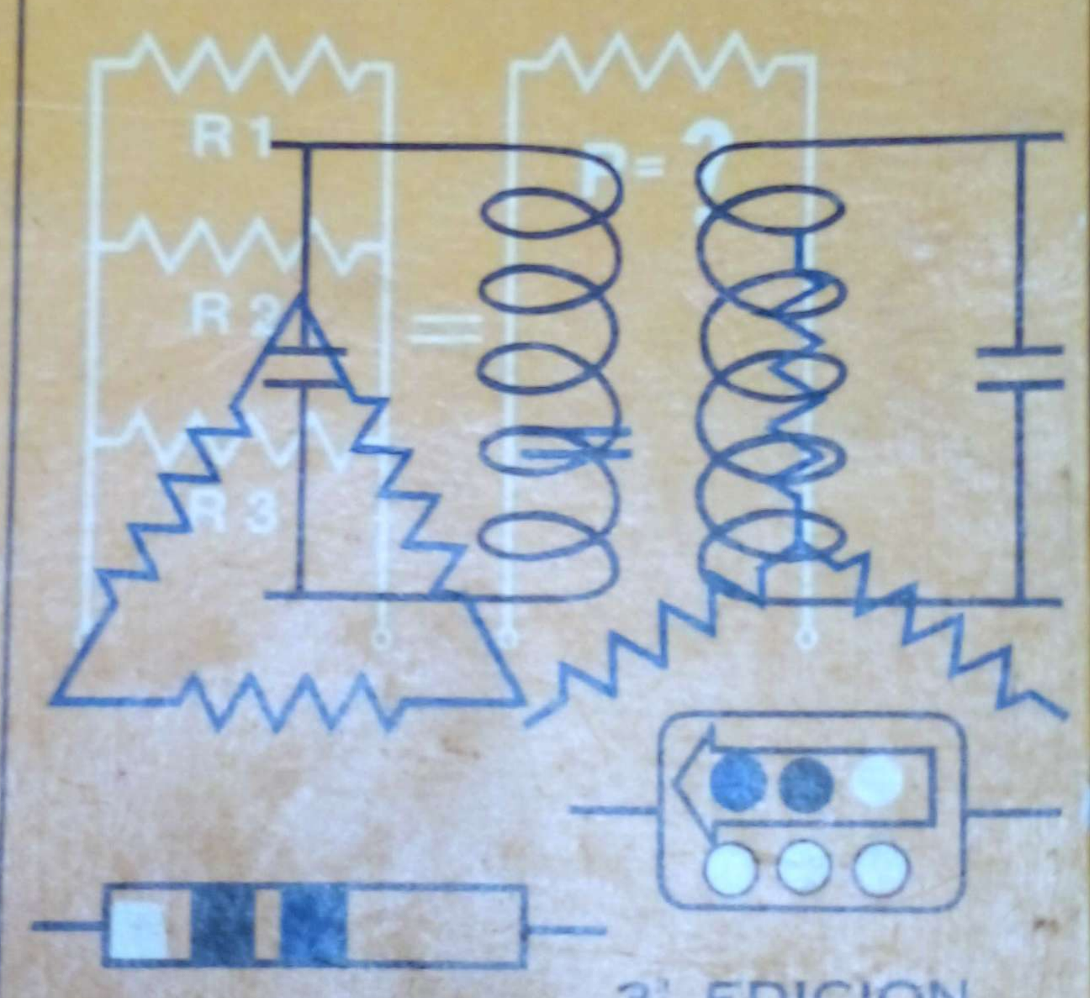
VADEMECUM

DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA



3' EDICION

GLEM

VADEMECUM DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

Preparado por el Equipo Técnico de la Editorial Glem S. A.

3ª EDICION



EDITORIAL GLEM, S. A.
Buenos Aires - Argentina

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723

2ª edición: Buenos Aires, 1977.
3ª edición: Buenos Aires, 1979.

IMPRESO EN ARGENTINA
PRINTED IN ARGENTINA

CONTENIDO

INDICE DE TABLAS CONTENIDAS EN EL PRESENTE VOLUMEN

PREFACIO

El presente Manual pretende poner en manos del técnico una cantidad de información concerniente al diseño de componentes y circuitos que, generalmente, se encuentra desperdigada en textos de especialidades diversas.

El lector no debe buscar en él el ABC de la electricidad y la electrónica, ya que a ese fin están dedicados otros libros, sino un auxiliar en las tareas diarias, que en forma rápida puede llevarlo a los elementos esenciales para resolver determinado problema. Tampoco debe buscarse en él rigor científico, ya que está dedicado a una esfera de aplicación en la cual raramente se hace necesaria la extrema precisión.

Desde ningún punto de vista es completo este manual, pues en busca de sencillez y agilidad se han debido sacrificar grandes cantidades de datos e informaciones que, a no dudarlo, lo hubieran hecho mucho más completo, pero también bastante más pesado, menos manuable y más apropiado para la labor del ingeniero que la del técnico.

Todos los datos, fórmulas y tablas que forman este manual han sido extraídos de obras de reconocida seriedad científica y técnica, después de una larga tarea de cotejamiento y recopilación. Esperamos que en las ediciones sucesivas se pueda ir introduciendo nuevos materiales que permitan mantener a este Manual completamente al día con el creciente desarrollo de la electricidad y la electrónica.

CAPÍTULO 1

CORRIENTE CONTINUA

Corriente eléctrica

Cuantitativamente una corriente eléctrica (I) se define como la relación de transferencia de carga eléctrica (Q) por unidad de tiempo (t).

$$\textbf{corriente (I)} = \frac{\textbf{Carga total transferida (Q)}}{\textbf{tiempo transcurrido (t)}}$$

$$\textbf{carga total (Q)} = \textbf{corriente (I)} \times \textbf{tiempo (t)}$$

En el sistema mks la unidad de carga es el coulomb, que corresponde a la carga transportada por $6{,}28 \times 10^{18}$ electrones, aproximadamente.

La unidad práctica de corriente es el amper, que corresponde a una transferencia de carga de 1 coulomb por segundo. Entonces:

$$\textbf{corriente I (amperes)} = \frac{\textbf{Q (coulombs)}}{\textbf{t (segundos)}}$$

$$\textbf{carga Q (coulombs)} = \textbf{I (amperes)} \times \textbf{t (segundos)}$$

Para determinar el valor de una corriente variable (i), en cualquier instante, se emplea la fórmula diferencial:

$$\textbf{corriente instantánea, } i = \frac{dq}{dt} \quad \textbf{(derivada de la carga con con respecto al tiempo)}$$

En forma similar, la carga total para una corriente variable:

$$Q = \int i\,dt \quad \textbf{(integral de corriente en función del tiempo)}.$$

Las corrientes usadas en electrónica se expresan generalmente en submúltiplos de la unidad amper, denominados miliamper (mA) y microamper (μA).

$$1 \text{ Amp.} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A}$$
$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ Amp.}$$
$$1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ Amp.}$$

Voltaje o diferencia de potencial

La diferencia de potencial E (en volts) es el trabajo W (en joules) realizado por las cargas Q (coulombs) por unidad de carga.

$$E = \frac{W}{Q}$$

donde
E = diferencia de potencial en volts.
W = trabajo, joules
Q = carga, coulombs.

El trabajo realizado por las cargas es:

$$W \text{ (joules)} = Q \text{ (coulombs)} \times E \text{ (volts)}$$

Resistencia y conductancia

La resistencia (R) de un conductor es su oposición al flujo de corriente eléctrica. Un conductor posee la unidad de resistencia de 1 ohm cuando una diferencia de potencial de 1 volt hace circular por ella una corriente de 1 amper.

La resistencia R de un alambre de resistividad ϱ, de longitud L y sección transversal A, es:

$$R = \varrho \frac{L}{A}$$

donde,
R = resistencia en ohms
ϱ = resistividad del material (ver Tabla Nº 1)
L = longitud de alambre, cm
A = sección transversal, cm^2.

Conociendo el diámetro del conductor, la expresión anterior se transforma en:

$$R = \varrho \frac{L}{0.78 \ d^2}$$

donde d es el diámetro en cm.

La conductancia es el valor recíproco de la resistencia y es una medida de la facilidad con que puede circular una corriente a través de un conductor determinado:

$$G = 1/R$$

donde,
G = conductancia en mho
R = resistencia en ohms.

Efecto de la temperatura sobre la resistencia

La resistencia de los metales aumenta con la temperatura. Este aumento depende del coeficiente térmico de resistividad (α) y del incremento de temperatura. Los semiconductores tienen coeficiente de temperatura negativo.

$$R = R_o (1 + \alpha t)$$ donde,

R = Resistencia, en ohms
R_o = Resistencia a la temperatura de referencia (20°)
α = Coeficiente de temperatura (ver tabla Nº 1)
t = variación de temperatura en °C.

TABLA Nº 1 - CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LOS PRINCIPALES MATERIALES CONDUCTORES

Material	*Resistividad* (α) ($\mu\Omega$ *cm2/cm*) *a la temperat.*		*Coef. temp.* α	*Conductividad respecto del cobre*	*Conduct. térmica caloría/gramo /°C/cm2/cm.*
Aluminio 99,9 %	2,8	20°C	41.10^{-4}	61,5	—
Aluminio templado	2,873	20°C	40.10^{-4}	60,0	0,48
Almelec	3,25	0°C	36.10^{-4}	55,0	—
Plata	1,50	0°C	40.10^{-4}	106,0	0,96
Bismuto	11,0	0°C	45.10^{-4}	14,0	0,02
Cobre electrolítico	1,54	0°C	41.10^{-4}	106,0	0,92
Cobre recocido	1,724	20°C	$39,3.10^{-4}$	100.0	0,84
Cobre recocido ind.	1,7	0°C	—	94,0	—
Duraluminio	4,2	15°C	40.10^{-4}	39,0	0,15
Estaño	11,0	0°C	43.10^{-4}	14,0	0,20
Hierro puro comerc.	10,0	0°C	55.10^{-4}	—	—
Fundición	80,0	—	75.10^{-4}	—	0,02
Mercurio	94,076	0°C	$8,87.10^{-4}$	1,85	—
Molibdeno	—	—	—	—	0,14
Níquel	10,0	0°C	60.10^{-4}	16,6	—
Osmio	9,5	20°C	42.10^{-4}	1,6	0,19
Platino	11,0	0°C	38.10^{-4}	14,0	0,08
Plomo	19,5	0°C	42.10^{-4}	8,2	—
Tántalo	13 a 16	20°C	27.10^{-4}	—	—
Tungsteno	6 a 8	20°C	39.10^{-4}	21,6	—
Zinc	5,7	0°C	40.10^{-4}	27,0	—
Acero cromo (Cr: 0,13-C: 0,002)	60,0	20°C	—	2,8	—
Acero níquel (Ni: 0,3-C:0,001)	82,0	20°C	—	2,1	—
Acero silicio (Si:0,04)	62,0	20°C	8.10^{-4}	2,8	—
Acero manganeso (Mn:0,13-C:0,01)	66,0	20°C	$12,7.10^{-4}$	2,6	0.03
Bronce-Aluminio (Cu:0,9-Al:0,1)	12,6	20°C	$3,2.10^{-4}$	1,22	0,18
Bronce fosforoso (Cu:0,98-Sn:0,002)	5 a 6	0°C	—	—	—

TABLA Nº 1 - CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LOS PRINCIPALES MATERIALES CONDUCTORES

Material	*Resistividad* (α) (μΩ cm^2/cm) *a la temperat.*		*Coef. temp.* α	*Conductividad respecto del cobre*	*Conduct. térmica caloría/gramo /°C/cm2/cm.*
Bronce silicio	1,7 a 2	0°C	—	—	—
Constantán (Cu:0,6-Ni:0,4)	49	18°C	± 0,1.10-4	3,5	0,054
Ferroníquel (Fe:0,7-Ni:0,25-Cr:0,008)	80	20°C	9.10-4	2,2	0,15
Latón (Cu:0,6-Zn:0,4)	8,15	15°C	10.10-4	20,0	—
Maillechort (Cu:0,6-Ni:0,15-Zn:0,25)	30	0°C	3,6.10-4	5,3	—
Manganina (Cu:0,84-Mn:0,12-Ni:0,04)	42	18°C	± 0,1-10-4	4,1	0,052
Nicrome (Cu:0,6 Cr:0,12-Fe:0,28)	137	0°C	0,002.10-4	—	—
Niquelina (Cu:0,62-Ni:0.18-Zn:0,2)	33	0°C	3.10-4	5,0	—
Niquelina (Cu:0,55, Ni:0,25-Zn:0,2)	45	0°C	3.10-4	3,6	—
Platino rodio (Pt:0,9-Rh:0,1)	27	0°C	13.10-4	—	—
Reotán (Cu:0,53 Ni:0,25-Zn:0,17-Fe:0,05)	52,5	0°C	4.10-4	3,0	—
Aleación RNC 1	100 ± 4	15°C	3.10-4	—	—
Aleación RNC 2	111 ± 4	15°C	1,5.10-4	—	—
Aleación RNC 3	98 ± 4	15°C	1,2.10-4	—	—

Ley de Ohm

La corriente eléctrica (I) en un conductor o circuito es igual a la diferencia de potencial (E) sobre el conductor (o circuito) dividido por la resistencia (R) del mismo.

$$I = \frac{E}{R}$$

$$E = I\,R \quad \text{y} \quad R = \frac{E}{I}$$

donde E = diferencia de potencial en volts
I = intensidad de la corriente en amperes
R = resistencia en ohms.



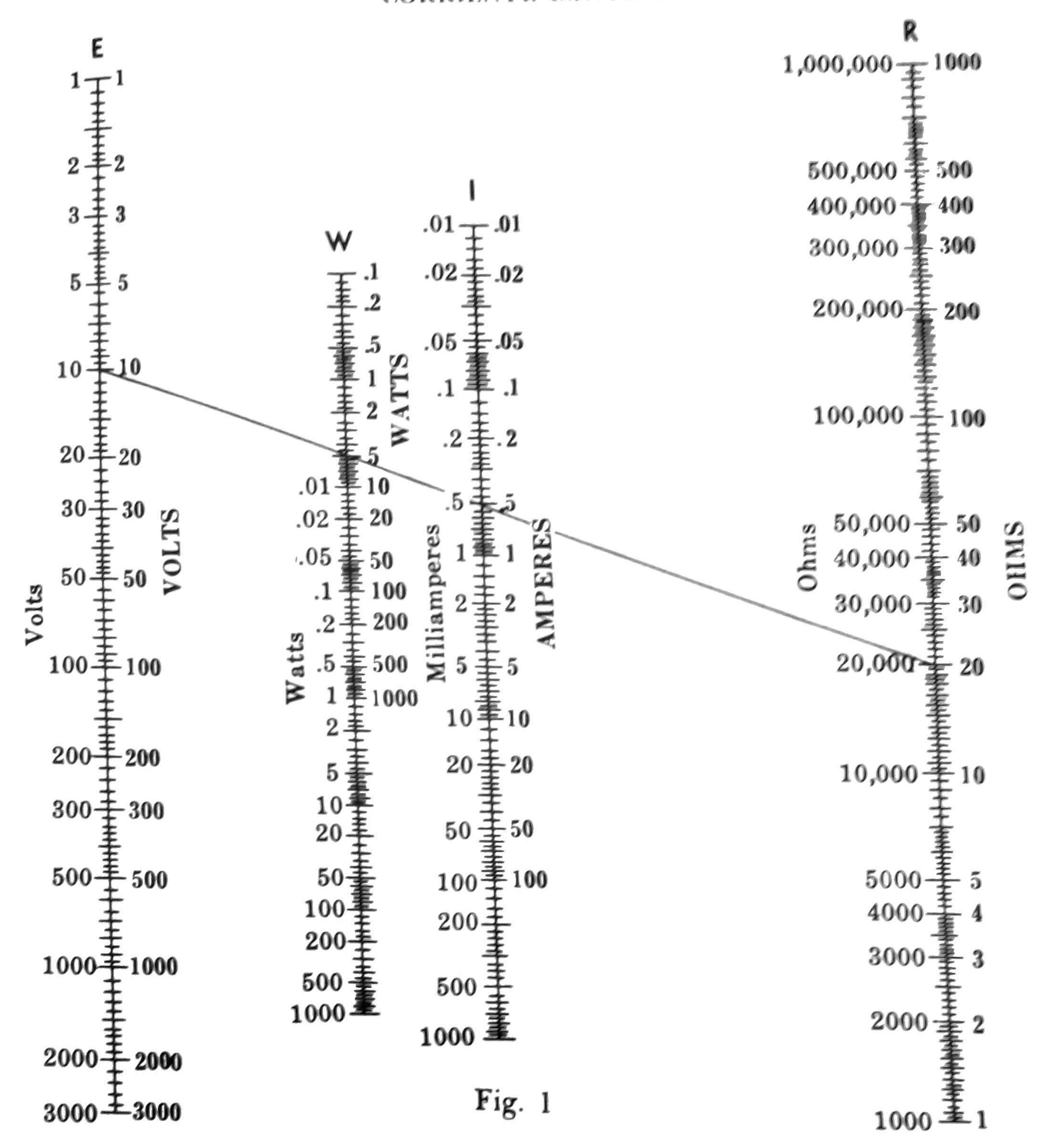


Fig. 1

Nomograma de la ley de Ohm

El nomograma o ábaco de la **Fig. 1** es una forma rápida para resolver la mayoría de los problemas que implican la ley de Ohm en CC y problemas de potencia. Se pueden determinar dos valores desconocidos colocando una regla sobre dos valores conocidos y leyendo los valores incógnitos en los puntos en los cuales la regla cruza las escalas apropiadas. Por ejemplo: sea determinar el valor de la resistencia cuando por ella circulan 500 mA y aparece sobre sus terminales una caída de tensión de 10 volts. Determinar además la potencia disipada. Colocando la regla entre el punto correspondiente a 10 volts en la escala E y el punto correspondiente a 0,5 A en la escala **I**, la prolongación de

la recta cae en el punto correspondiente a 20 ohms de la escala R. Además, la misma recta cruza al punto correspondiente a 5 W en la escala W. Por tanto, el valor de la resistencia es 20 ohms y disipa una potencia de 5 watts.

Resistencias en serie y en paralelo

a) Resistencias en serie (Fig. 2)

$$R\ total = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$$

Fig. 2

b) Resistencias en paralelo (Fig. 3, a y b)

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$$

Fig. 3 a

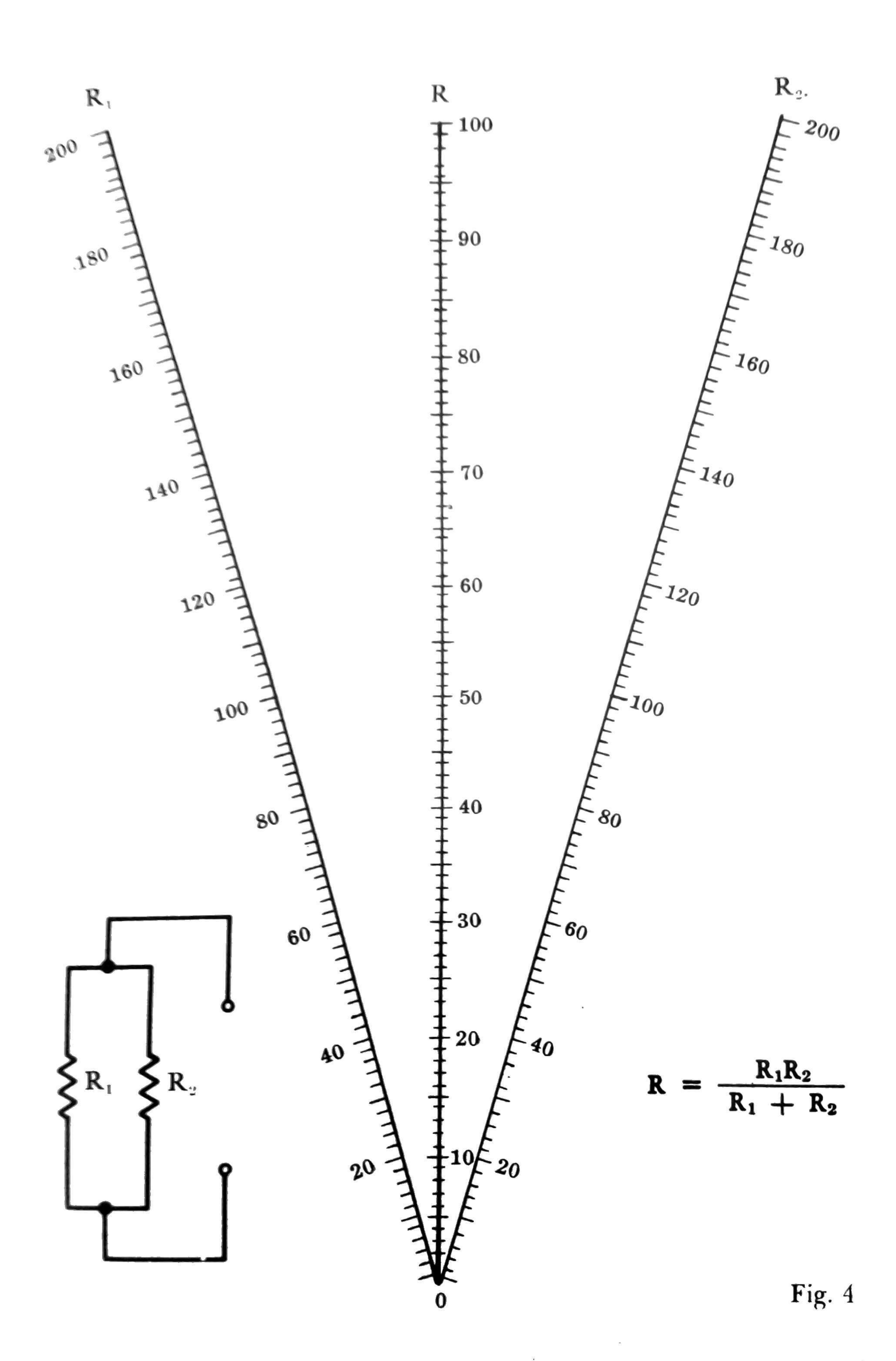
Para el caso de dos resistencias en paralelo. (Fig. 3 b)

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Fig. 3 b

Nomograma para la determinación de resistencias en paralelo

Dos resistencias R_1 y R_2, conectadas en paralelo, pueden calcularse por medio del nomograma de la Fig. 4. Simplemente, por medio de una regla se unen los dos puntos correspondientes a los valores de las resistencias R_1 y R_2. El punto de intersección con la recta R corresponde al valor de la resistencia de la combinación.

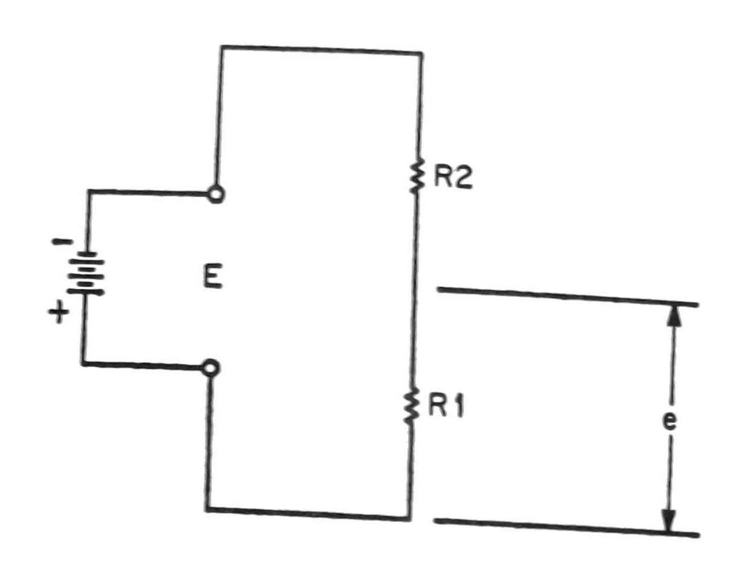


$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Fig. 4

Divisor de tensión. (Potenciómetro)

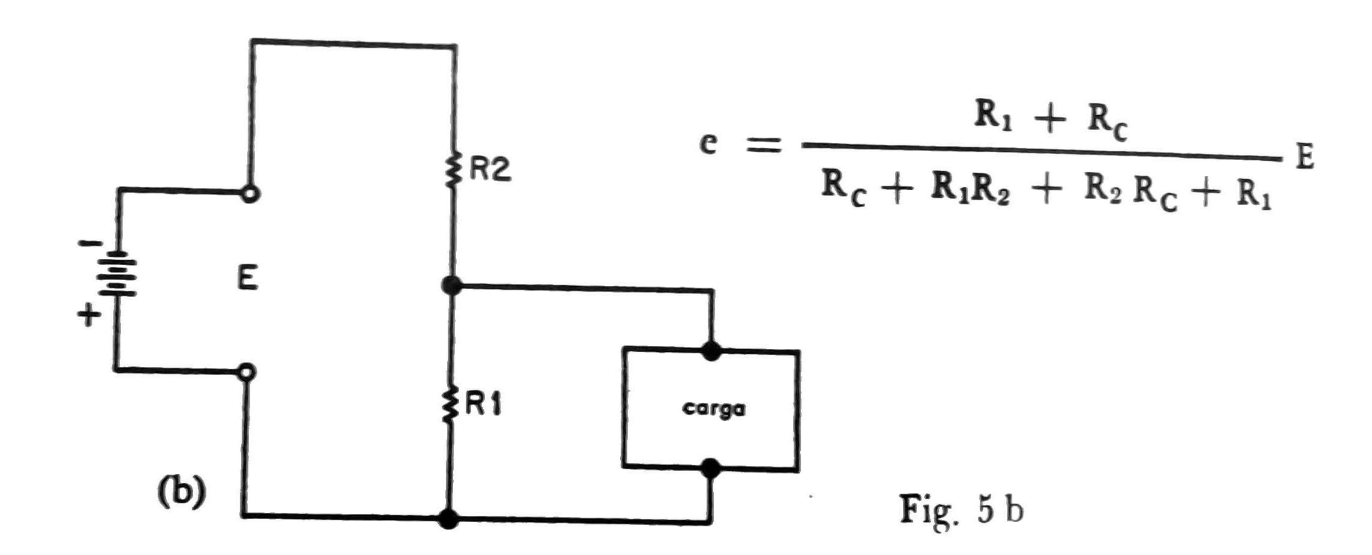
a) En vacío (Fig. 5 a)



$$e = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E$$

Fig. 5 a

b) Con carga (Fig. 5 b)



$$e = \frac{R_1 + R_C}{R_C + R_1R_2 + R_2 R_C + R_1} E$$

Fig. 5 b

Potencia eléctrica, energía y calor

$W = E\,Q$	donde	W = energía eléctrica o trabajo (joules)
$= E I t$		E = diferencia de potencial, volts
$= I^2 Rt$		Q = carga total, coulombs
		I = corriente, amperes
		t = tiempo, segundos
		R = resistencia, ohms

Energía térmica (en joules) $= W = I^2Rt = EIt$

Como 1 caloría $= 4{,}18$ joules

H calorías $= 0{,}239 I^2Rt$

La potencia eléctrica (P) disipada en un circuito de CC es la rela-

ción de energía entregada (por segundo), o la relación de trabajo efectuado:

$$P = \frac{W}{t} = E\,I$$

donde

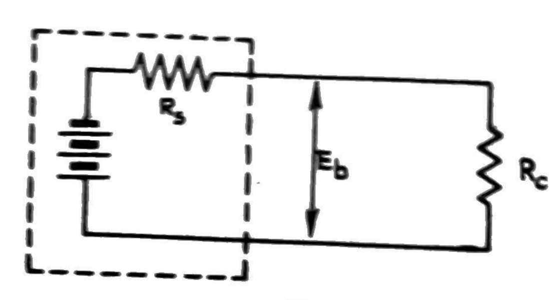
P = potencia en watts
E = voltaje en volts
I = corriente en amperes
t = tiempo en segundos.

Combinando las fórmulas anteriores con las expresiones de la ley de Ohm se obtienen los siguientes grupos de fórmulas:

Potencia	Corriente	Resistencia	tensión
$E\,I$	$\frac{E}{R}$	$\frac{E}{I}$	$I\,R$
I^2R	$\frac{P}{E}$	$\frac{E^2}{P}$	$\frac{P}{I}$
$\frac{E^2}{R}$	$\sqrt{\frac{P}{R}}$	$\frac{P}{I^2}$	$\sqrt{P\,R}$

En la Tabla Nº 2 se han tabulado los valores de corriente admisible para distintos tipos de resistencias empleadas en electrónica.

Potencia entregada a una carga



$$P_c = \frac{E_b^{\,2}\,R_c}{(R_c + R_s)^2}$$

donde

R_s = resistencia interna de la fuente
R_c = resistencia de carga
P_c = potencia entregada a la carga
E_b = voltaje de la fuente.

La máxima transferencia de potencia a la carga se obtiene cuando la resistencia de la carga es igual a la resistencia de la fuente.

Leyes de Kirchhoff

1º) La suma de las corrientes que entran en un punto de unión de un circuito es igual a la suma de las corrientes que salen de ese punto (Fig. 7 a).

$$I_2 + I_3 = I_1$$

$$\text{ó} \quad I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

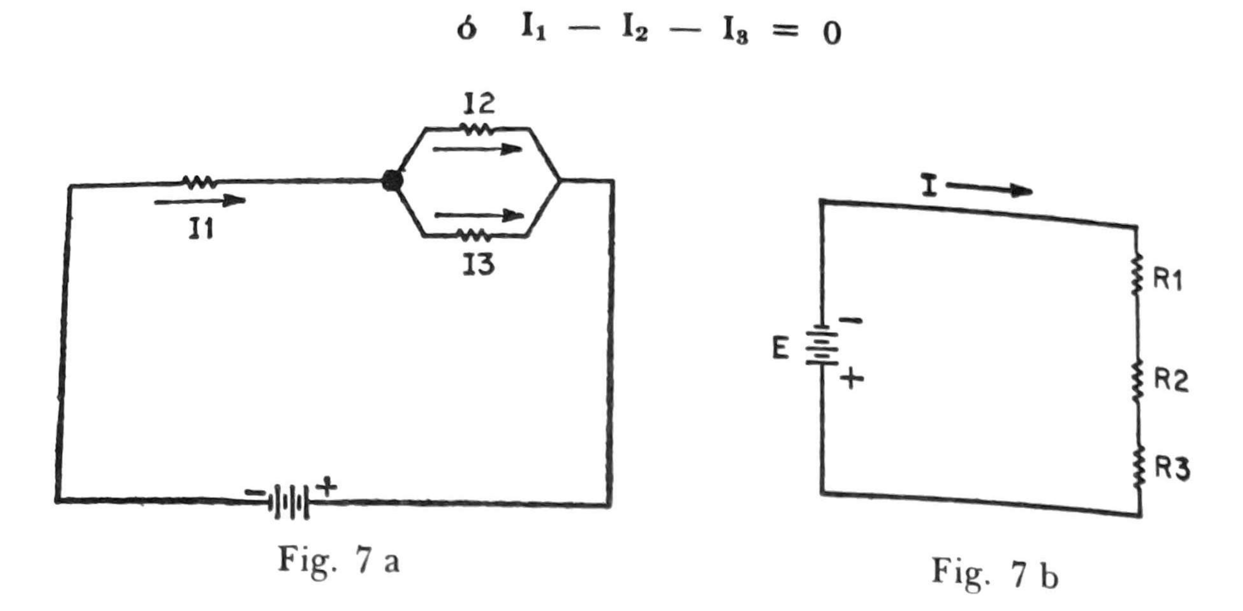


Fig. 7 a

Fig. 7 b

2º) Para todo conjunto de conductores que forman un circuito cerrado se verifica que la suma de las caídas de voltaje en las resistencias que constituyen la malla o red, es igual a la suma de las fem intercaladas (Fig. 7 b).

$$I_1R_1 + I_2R_2 + I_3R_3 - E = 0$$

Código de colores para las resistencias

En la Fig. 8 se indica el código de colores normalizado para resistencias usadas en electrónica.

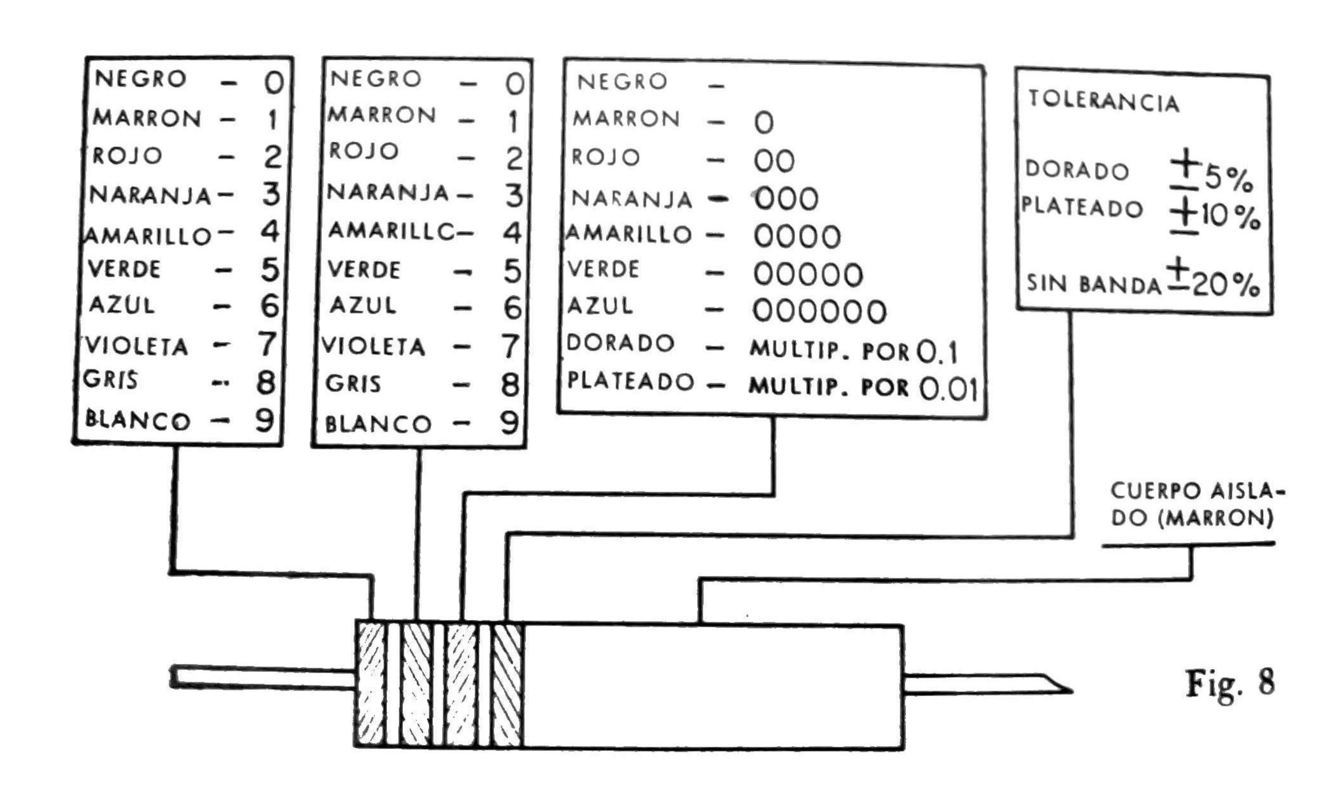


Fig. 8

TABLA Nº 2 - CORRIENTE MÁXIMA ADMISIBLE SEGÚN LA DISIPACIÓN DE UNA RESISTENCIA

Valor de R	Corriente admisible en mA para una resistencia de:							
	1/8 W	1/4 W	1/2 W	1 W	2 W	5 W	10 W	20 W
50	50	71	100	143	200	316	450	630
100	35	50	70	100	142	224	316	448
150	28	40	58	83	116	182	260	365
200	24	35	50	71	100	158	225	316
250	22	31,5	44,8	63	90	142	203	284
300	20	29	41	58	82	128	183	256
350	18	27	38	54	76	120	169	240
400	17,5	25	35,5	50	71	112	158	224
450	16,5	23	33,4	46	67	104	149	208
500	15,6	22	31,5	44	63	100	142	200
600	14,2	20	29	41	58	91	130	182
1000	11	15,8	22,4	31,5	45	71	100	142
1500	9	12,9	18,2	25,5	36,5	58	82	116
2000	7,8	11	15,8	22,4	31,5	50	71	100
2500	7	10	14,2	20	28,5	45	64	90
3000	6,4	9,1	13	18,3	26	41	58	82
4000	5,5	7,9	11,2	15,8	22,4	35	50	70
5000	5	7,1	10	14,2	20	32	45	64
10 000	3,5	5	7,1	10	14,2	22	31,6	44
15 000	2,8	4,1	5,8	8,1	11,6	18	26	36
20 000	2,5	3,5	5	7,1	10	16	22,5	32
25 000	2,2	3,1	4,4	6,3	8,9	14	20	28
30 000	2,05	2,9	4,1	5,8	8,2	13	18,3	26
40 000	1,75	2,5	3,5	5	7	11	15,8	22
50 000	1,58	2,2	3,1	4,4	6,1	9,8	14,2	20
75 000	1,29	1,83	2,6	3,6	5,2	8	11,4	16
100 000	1,1	1,58	2,2	3,1	4,5	7	10	14
150 000	0,9	1,29	1,81	2,6	3,6	6	8,2	12
200 000	0,78	1,1	1,58	2,2	3,1	5	7,1	10
250 000	0,7	1	1,42	2	2,8	4,5	6,4	9
300 000	0,65	0,9	1,43	1,8	2,6	4,1	5,8	8,2
400 000	0,57	0,78	1,12	1,57	2,2	3,5	5	7
500 000	0,49	0,7	1	1,4	2	3,15	4,5	6,3
1 MΩ	0,35	0,49	0,7	1	1,4	2,2	3,16	4,4
2 MΩ	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,6	2,25	3,2
5 MΩ	0,15	0,23	0,3	0,46	0,6	1	1,42	2
10 MΩ	0,1	0,15	0,23	0,3	0,5	0,7	1	1,4

Valores normales de las resistencias

Los valores que normalmente poseen las resistencias utilizadas en radio y electrónica, en general, siguen las especificaciones de la Asociación de Industrias Electrónicas (EIA). En la Tabla Nº 3 se indican los valores normalizados de las resistencias con una tolerancia de ± 5 %. Los valores que se señalan en negrita corresponden a resistencias con una tolerancia de ± 10 %.

TABLA Nº 3 - VALORES NORMALES DE LAS RESISTENCIAS

Ohms							Meghoms		
2,7	13	**68**	360	**1800**	9100	**47000**			
3,0	**15**	75	**390**	2000	**10000**	51000	0,24	1,1	5,1
3,3	16	**82**	430	**2200**	11000	**56000**	**0,27**	**1,2**	**5,6**
3,6	**18**	91	**470**	2400	**12000**	62000	0,30	1,3	6,2
3,9	20	**100**	510	**2700**	13000	**68000**	**0,33**	**1,5**	**6,8**
4,3	**22**	110	**560**	3000	**15000**	75,000	0,36	1,6	7,5
4,7	24	**120**	620	**3300**	16000	**82000**	**0,39**	**1,8**	**8,2**
5,1	**27**	130	**680**	3600	**18000**	91000	0,43	2,0	9,1
5,6	30	**150**	750	**3900**	20000	**100000**	**0,47**	**2,2**	**10,0**
6,2	**33**	160	**820**	4300	**22000**	110000	0,51	2,4	11,0
6,8	36	**180**	910	**47,00**	24000	**120000**	**0,56**	**2,7**	**12,0**
7,5	**39**	200	**1000**	5100	**27000**	130000	0,62	3,0	13,0
8,2	43	**220**	1100	**5600**	30000	**150000**	**0,68**	**3,3**	**15,0**
9,1	**47**	240	**1200**	6200	**33000**	160000	0,75	3,6	16,0
10	51	**270**	1300	**6800**	36000	**180000**	**0,82**	**3,9**	**18,0**
11	**56**	300	**1500**	7500	**39000**	200000	0,91	4,3	20,0
12	**62**	**330**	**1600**	**8200**	**43000**	**220000**	**1,0**	**4,7**	**22,0**

CAPÍTULO 2

CONDENSADORES

Capacitancia

La aptitud de un circuito o elemento condensador para acumular una carga eléctrica, al aplicarle un voltaje, se define cuantitativamente por medio de la carga en coulombs, que adquiere el elemento o circuito:

$$C = \frac{Q}{E} \qquad \text{de donde} \qquad E = \frac{Q}{C}$$

La energía que almacena un condensador es: $W = \frac{C E^2}{2}$

En las expresiones anteriores:

Q = carga, en coulombs
C = capacidad, en faradios
E = fuerza electromotriz aplicada, en volts
W = energía, en joules (vatios-segundo).

La capacidad se expresa en faradios. Los submúltiplos de esta unidad son:

microfaradio (µf) $= 10^{-6}$ faradio

micromicrofaradio (µµf) = picofaradio $= 10^{-12}$ faradio

Condensador en circuito de CC

La corriente instantánea de carga (i), después de un tiempo t, en un circuito que contenga una resistencia y una capacidad, es:

$$i = I\, e^{-t/RC}$$

donde,
I = intensidad máxima (para $t = 0$), en amperes.
e = base de los logaritmos neperianos (2,7183).

La misma expresión, con signo negativo (–), se utiliza para determinar la corriente instantánea de descarga a través de la resistencia R.

Constante de tiempo

Es el tiempo que tarda la tensión en alcanzar el valor 1 −1/e ó el 63,2 % de su valor máximo, al aplicar un voltaje al condensador a través de una resistencia R. Es también el tiempo que tarda en disminuir hasta el valor 1/e o al 36,8 % del valor inicial cuando se descarga el condensador a través de la resistencia R.

T = CR, donde C = capacidad, en faradios
R = resistencia, en ohms.
T = constante de tiempo, seg

Nomogramas para determinar la constante de tiempo de condensadores

Los nomogramas de la Fig. 9 a y b permiten determinar la constante de tiempo de condensadores, es decir, el tiempo de descarga de un condensador sobre una resistencia. El nomograma de la Fig. 9 a posibilita trabajar con condensadores de 0,01 a 10 μF, mientras que el nomograma de la Fig. 9 b cubre el rango de 100 a 100.000 pF.

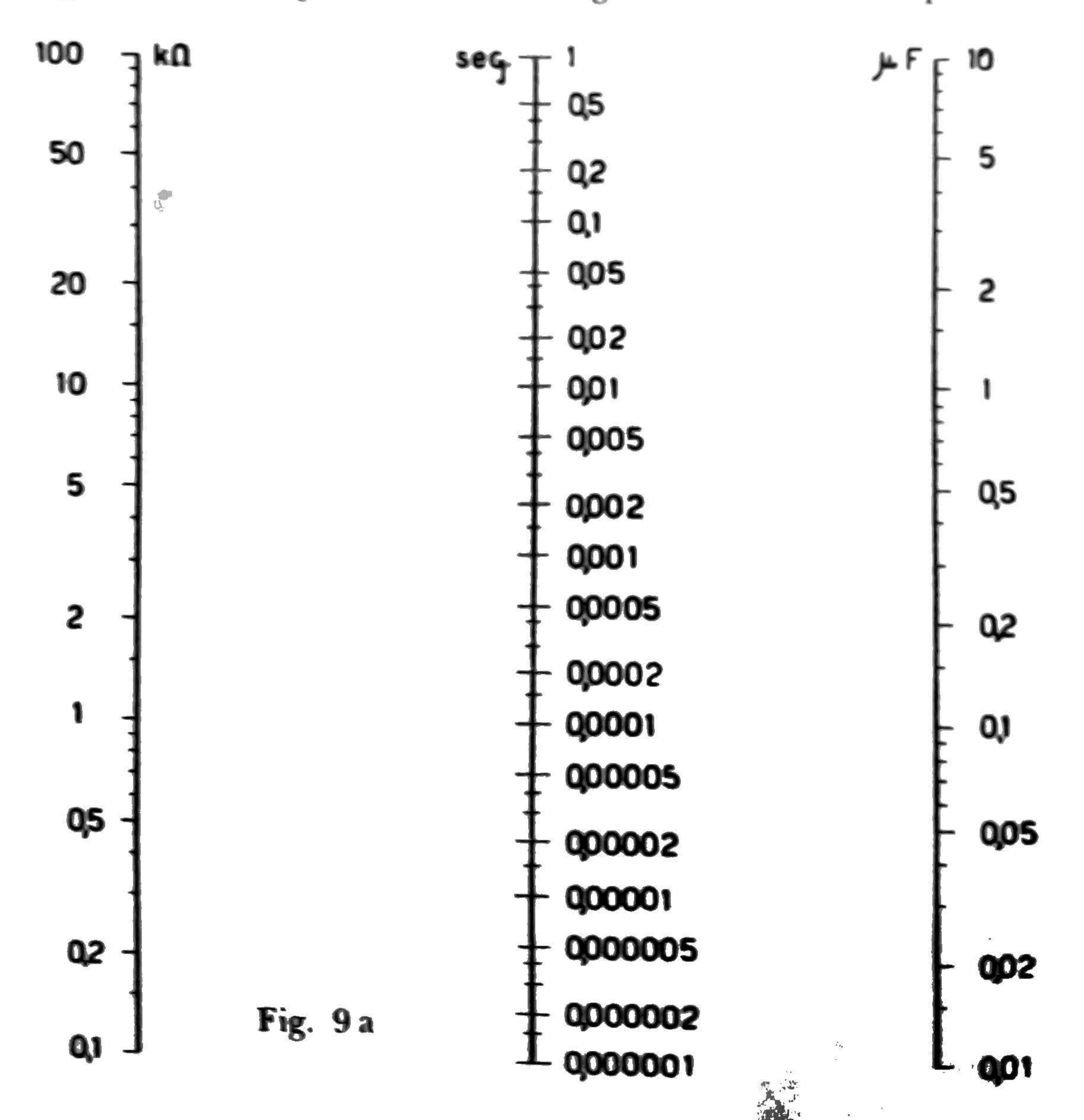


Fig. 9 a

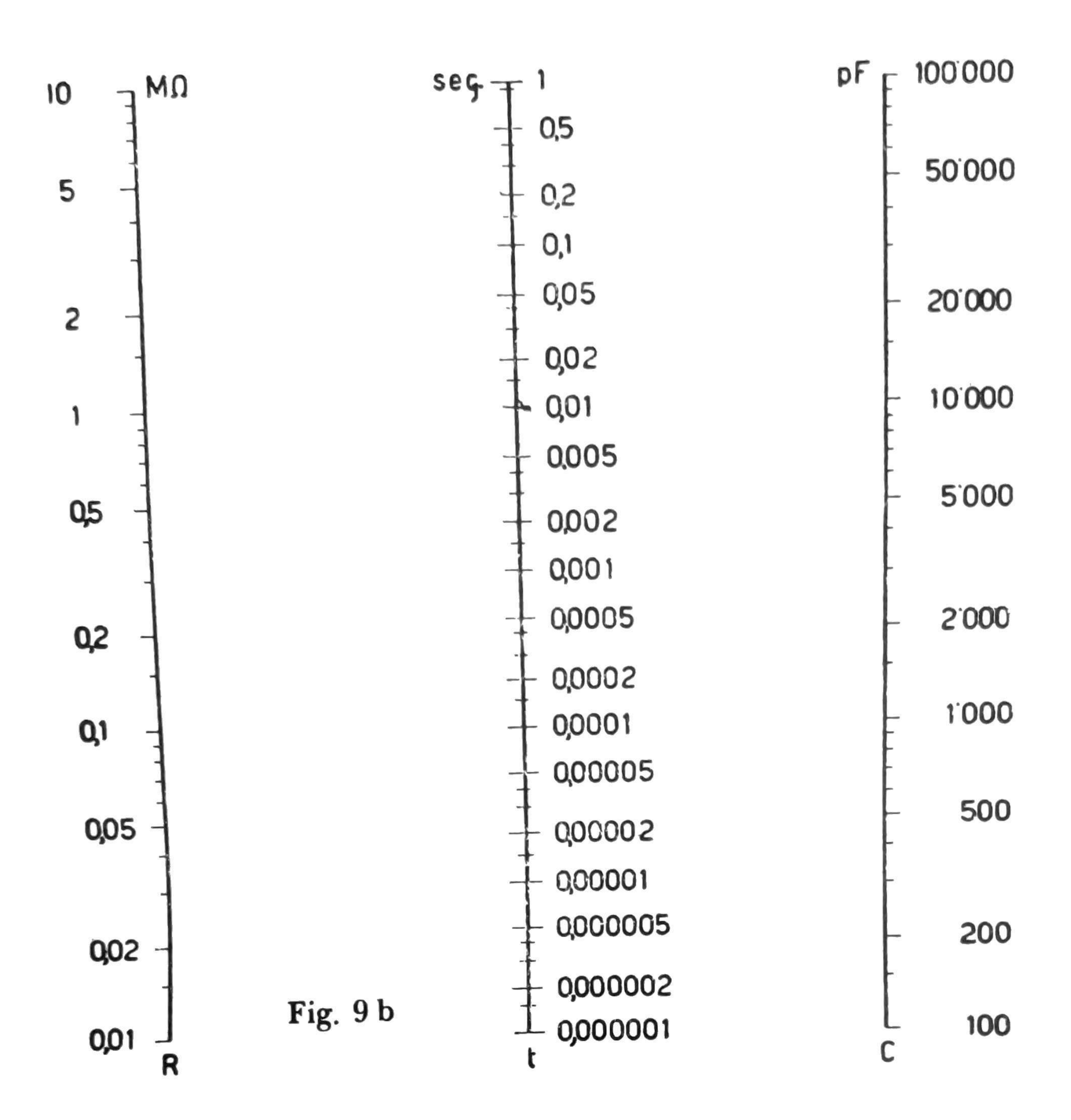


Fig. 9 b

Condensadores en serie y en paralelo

La capacidad total de condensadores agrupados en serie es:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots$$

Para dos condensadores en serie, la expresión anterior se simplifica:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

La capacidad total de los condensadores en paralelo es la suma de las capacidades individuales:

Nomograma para determinar la capacidad equivalente de dos condensadores en serie

Con el nomograma o ábaco de la Fig. 10 se puede determinar rápidamente la capacidad equivalente de dos condensadores conectados en serie. Los valores conocidos de C_1 y C_2 se unen por medio de una regla y el punto en que ésta corta a la recta C es el valor de la capacidad total.

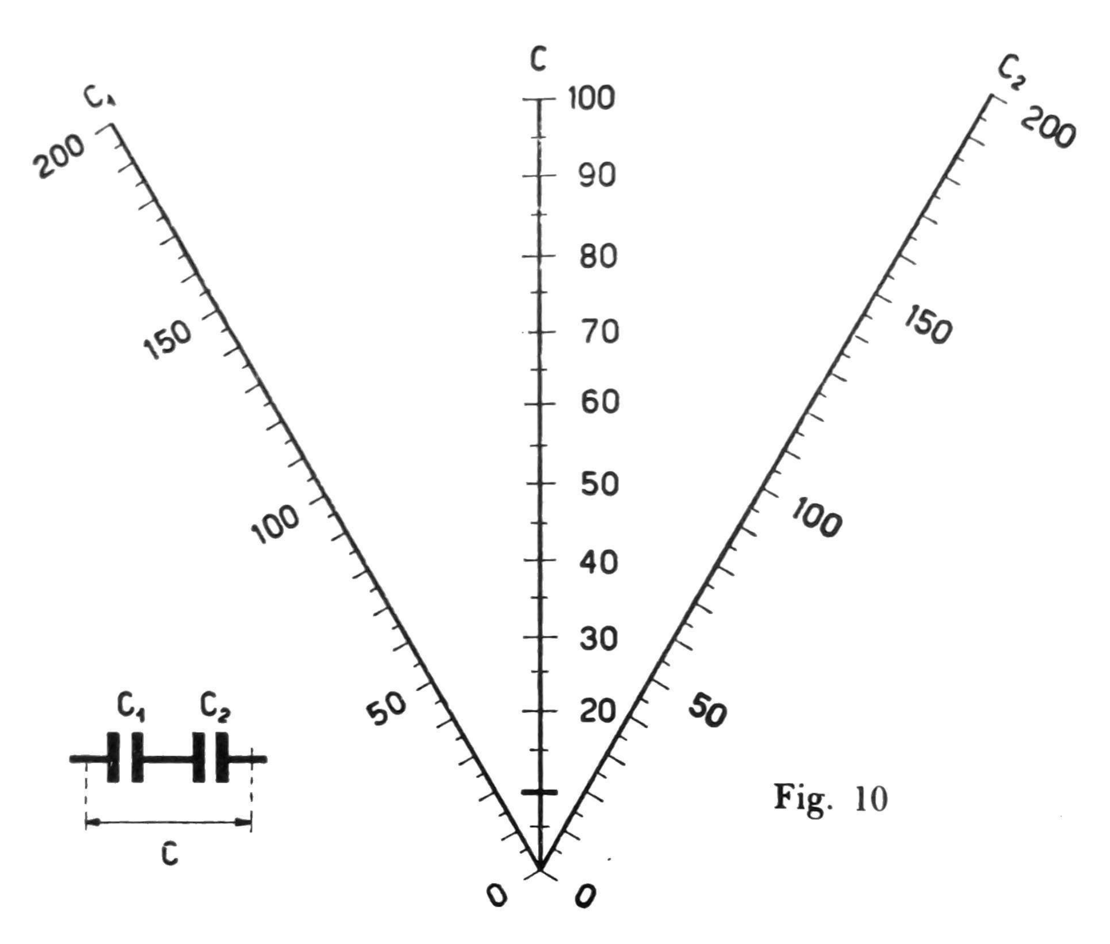


Fig. 10

Voltaje sobre condensadores en serie

Cuando se aplica un voltaje de CA a un grupo de condensadores conectados en serie el voltaje sobre uno de ellos es:

$$E_c = \frac{E_a \, C_t}{C}$$

donde

E_c = voltaje sobre uno de los condensadores

E_a = voltaje aplicado

C_t = capacidad total de la combinación serie

C = condensador sobre el cual se toma el voltaje.

Determinación de la capacidad de condensadores

a) Condensador de varias placas.

$$C = 0{,}0885 \frac{K A (N-1)}{d}$$

donde C = capacidad en µµF.
n = número de placas del condensador.
K = constante dieléctrica (ver Tabla Nº 4).
A = superficie de cada placa, en cm².
d = espesor del dieléctrico, en cm.

Esta fórmula no toma en cuenta el efecto de polarización. Si el dieléctrico está formado por una parte sólida y otra de aire se deberá considerarlo como si fueran dos condensadores en serie, de constantes dieléctricas K_1 y K_2, y espesores d_1 y d_2.

b) Disco aislado de espesor despreciable.

$$C = 0.354 d$$

donde
d = diámetro del disco en cm.

c) Esfera aislada.

$$C = 0.556\, d$$

donde
d = diámetro de la esfera en cm.

d) Dos esferas concéntricas.

$$C = 1.112 K \frac{r_1 r_2}{r_1 - r_2}$$

siendo
r_1, r_2 = radios de las esferas, en cm.
K = constante dieléctrica del medio que separa a las esferas.

e) Dos cilindros coaxiles.

$$C = \frac{0.2416 l}{\log_{10} \frac{r_1}{r_2}}$$

siendo
r_1, r_2 = radios de los cilindros, en cm.
K = constante dieléctrica del medio que separa a los cilindros.
l = longitud de los cilindros, en cm.

Capacidad de un condensador variable

Un condensador variable, de placas semicirculares, para la posición de máxima capacidad (totalmente cerrado) tiene una capacidad expresada por:

$$C = 0.1390 K \frac{(N-1)(r_1^2 - r_2^2)}{\tau}$$

siendo
C = capacidad en picofaradios.
K = constante dieléctrica.
n = número total de placas.
r_1 = radio externo de las placas, en cm.
r_2 = radio interno de las placas, en cm.

Si $\triangle C$ es la variación de capacidad y $\triangle \alpha$ es la variación del ángulo, se tiene que:

$$\frac{\triangle c}{\triangle \alpha} = A = \text{constante, para condensadores de variación lineal de capacidad.}$$

Según la forma de las chapas, la capacidad, frecuencia y longitud de onda varían como se indica en la Fig. 11.

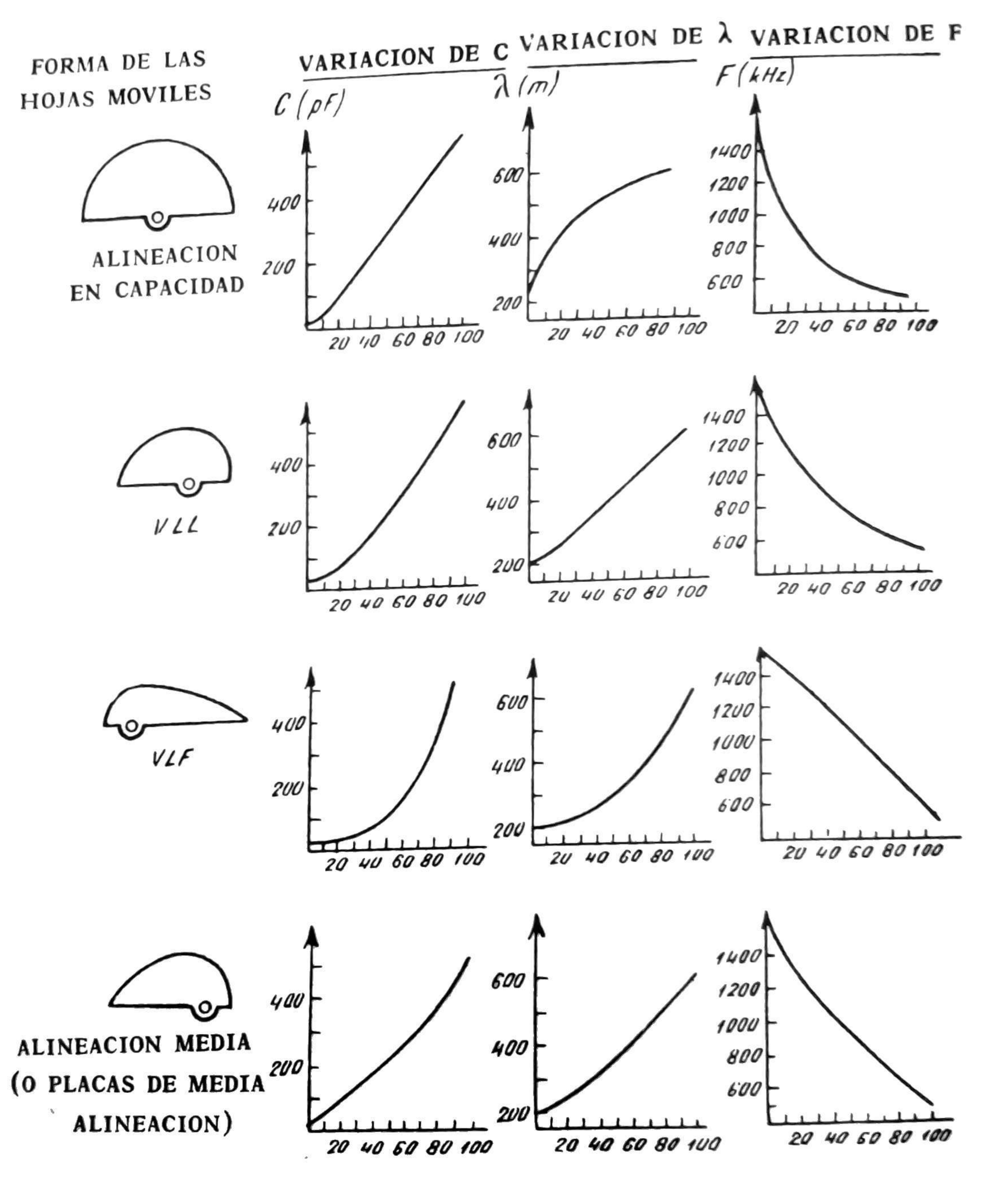
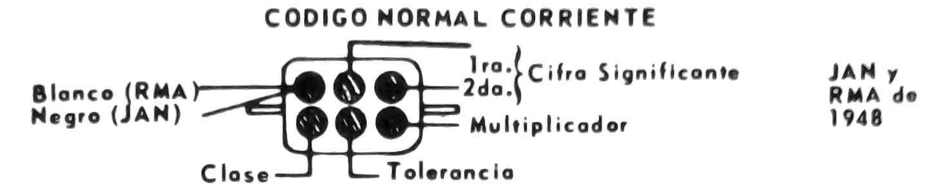
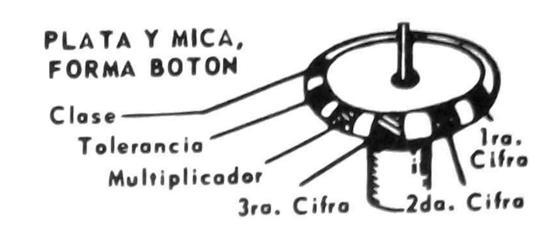


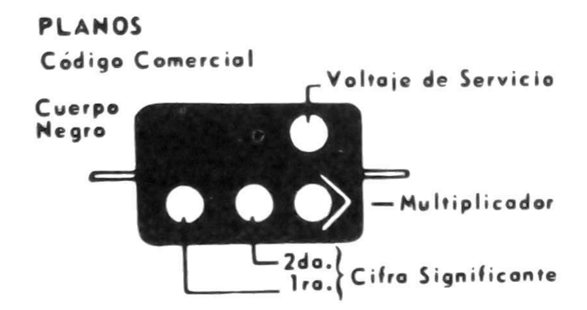
Fig. 11.

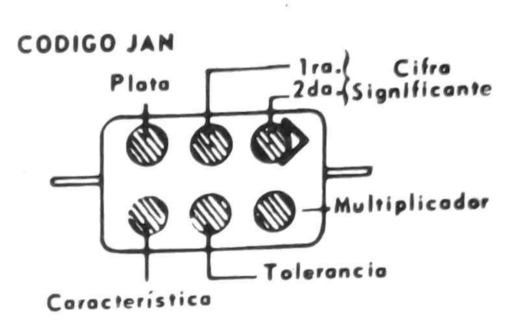
Código de colores de capacitores



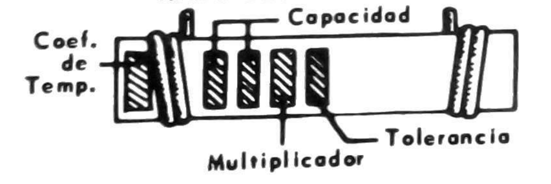


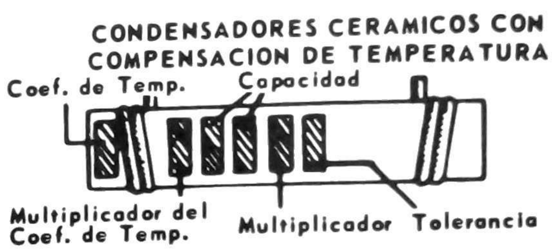












AISLADOS / NO AISLADOS { Color	1er. ANILLO COLOR DEL CUERPO 1ra. Cifra	2do. ANILLO COLOR DEL EXTREMO 2da. Cifra	3er. ANILLO COLOR DEL PUNTO Multiplicador
NEGRO	0	0	Ninguno
MARRON	1	1	0
ROJO	2	2	00
ANARANJADO	3	3	000
AMARILLO	4	4	0,000
VERDE	5	5	00,000
AZUL	6	6	000,000
VIOLETA	7	7	0,000,000
GRIS	8	8	00,000,000
BLANCO	9	9	000,000,000

TABLA Nº 4 - CONSTANTE DIELÉCTRICA DE LOS PRINCIPALES AISLANTES

Dieléctrico	Constante dieléctrica (k)
Aceite de oliva	3,1
Aceite de ricino	4,4 a 4,8
Aceite para transformadores	2,5
Acetona	21
Ácido acético	6,5
Agua a 14°C	83,8
Agua destilada	81
Aire a 100 atmósferas	1,02
Aire a 1 atmósfera	1,05
Aire a 5 mm de mercurio (vacío)	1
Alcohol amílico	15 a 16
Alcohol etílico	24 a 27
Alcohol metílico	32,6
Alcohol propílico	22,8
Anhídrido carbónico	1,0004
Azufre	2,6 a 4
Benzol	2,4
Caucho puro	2,12 a 2,34
Caucho vulcanizado	2,69 a 2,94
Cera	1,86
Cristal	5,8 a 7,6
Cuarzo	4,55
Ebonita	2 a 2,8
Esencia de petróleo	2,3
Fibra dura	1,19 a 2,66
Goma laca	3,10
Glicerina	56
Gutapercha	3,3 a 4,9
Hidrógeno	0,9997
Mica	5 a 7,8
Papel parafinado	3,6
Papel seco	1,5
Parafina	1,98 a 2,32
Petróleo	2,02 a 2,19
Porcelana	4,38
Resina	2,48 a 2,57
Sílice	3,5 a 3,8
Sulfuro de carbono	2,6
Vaselina	2,17
Vidrio (d = 2,5 a 4,5)	5 a 10
Vidrio crown duro	6,96

Pérdidas dieléctricas

El efecto de las pérdidas dieléctricas en el circuito se formula considerando que el condensador posee una resistencia equivalente, en serie o en paralelo con él (Fig. 12).

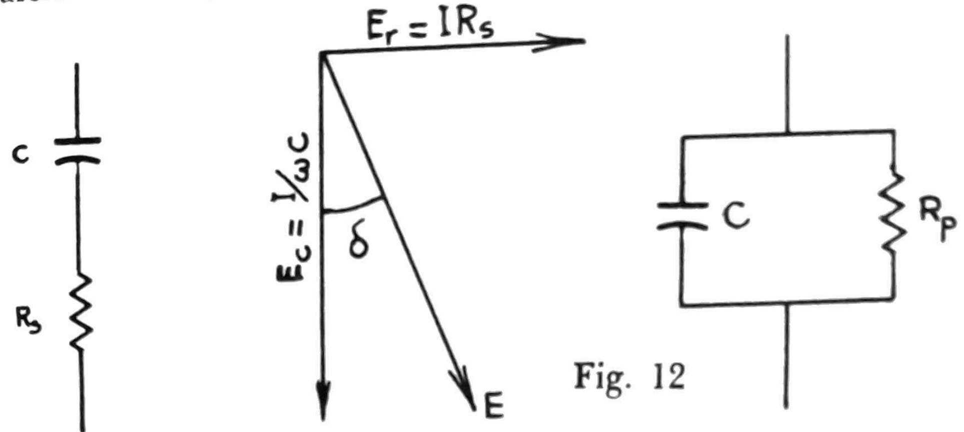


Fig. 12

La resistencia serie equivalente es:

$$R_s = \frac{\tan\delta}{\omega\ C} = \frac{F.P}{\omega C}$$

La resistencia en paralelo equivalente es:

$$R = \frac{1}{\omega C \tan\delta} = \frac{1}{\omega C\ F.P}$$

En las expresiones anteriores:

δ = ángulo de pérdidas
F.P = factor de potencia = sen δ ≅ tang δ = ωCR para pequeños valores de R.
C = capacidad en faradios
R = resistencia equivalente a las pérdidas, ohms.

El factor de calidad (Q) de un condensador es:

$$Q = \frac{1}{\omega C R_s}$$

, donde
C = capacidad, en faradios.
ω = 2 f (f en c/s).
R_s = resistencia equivalente a las pérdidas, en ohms.

El Q de los condensadores de aire es del orden de 10.000. Los condensadores con dieléctrico sólido tienen un Q que varía entre 500 y 1000.

TABLA Nº 5 - ÁNGULO DE PÉRDIDAS PARA LOS PRINCIPALES AISLANTES INDUSTRIALES

Dieléctrico	Ángulo de pérdidas (δ en radianes)
Cuarzo	0,0001
Ultracalán (nombre comercial)	0,0001
Calán especial (nombre comercial)	0,00017
Mica	0,00025
Frecuenta (nombre comercial)	0,0003
Calita (nombre comercial)	0,00037
Sílice fundida transparente	0,0004
Trolitul	0,0006
Parafina	0,0004
Sílice opaca fundida	0,0012
Esteatita (nombre comercial)	0,0018
Isolantita (nombre comercial)	0,0018
Micalex	0,0018
Condensa (nombre comercial)	0,002
Condensa C (nombre comercial)	0,004
Porcelana	0,0049
Pyrex	0,006
Caucho sin vulcanizar	0,0061
Vidrio	0,009
Ebonita	0,01
Baquelita	0,04
Celuloide	0,05
Madera	0,02 a 0,07
Pizarra	0,6 a 0,7

CAPITULO 3

ELECTROMAGNETISMO

Campo magnético producido por una corriente eléctrica

1) En un alambre recto:

$$H = \frac{2\,I}{10\,r}$$

donde
H = intensidad de campo en oersted
I = corriente en amperes
r = distancia desde el centro del alambre hasta donde se mide el campo, en cm

2) En una espira circular:

$$H = \frac{2\pi\,I}{10\,r}$$

donde
H = intensidad de campo medida en el centro de la espira circular, en oersted
r = radio de la espira circular, en cm.

3) Bobina plana circular:

$$H = \frac{2\pi\,N\,I}{10\,r}$$

donde
N = número de espiras.

4) Bobina larga (solenoide) :

$$H = \frac{4\pi\,N\,I}{10\,l}$$

donde
l = longitud del solenoide, en cm

Forma circuital de la ley de Ampère

El trabajo realizado para mover una unidad magnética aislada en un camino cerrado, alrededor de un conductor que transporta corrientes, es:

$$W = \frac{4\pi\,I}{10}$$

(por polo unidad)
donde
W = Trabajo en ergs
I = corriente en amperes

La fuerza que actúa sobre el polo es:

$$F = mH = m \frac{2\ I}{10\ r}$$

Flujo magnético

El flujo magnético (Ø) es el número total de líneas de fuerza creadas por un campo magnético. La unidad de flujo magnético es el maxwell (1 línea de fuerza). En el sistema MKS se emplea el weber.

1 weber = 100.000.000 = 10^8 maxwell.

La densidad de flujo (B) es el número de líneas de fuerza que pasan perpendicularmente por un área de 1 cm^2. Se mide en gauss.

1 gauss = 1 maxwell/cm^2.

En el sistema MKS la unidad de densidad de flujo es el weber/m^2.

1 weber/m^2 = 10.000 gauss.

El flujo total es:

Ø = B.A., donde
Ø = flujo total en maxwell
B = densidad de flujo en gauss
A = área de la sección en cm^2.

Permeabilidad

Permeabilidad (μ) es la medida de la facilidad con que se magnetiza un material.

$$\mu = \frac{B}{H}$$

donde
B = densidad de flujo en gauss
H = intensidad magnética, en oersted
μ = permeabilidad (sin unidades)

Circuitos magnéticos

La ley fundamental de los circuitos magnéticos es:

$$\Phi = B\ A = \mu\ H\ A = \mu A \frac{4\pi\ N\ I}{10\ l}$$

$$\text{flujo, } \Phi = \frac{0{,}4\pi\ N\ I}{\dfrac{l}{\mu A}} = \frac{\mathcal{F}\ \text{(fuerza magnetomotriz)}}{\mathcal{R}\ \text{(Reluctancia)}}$$

La fmm (*F*) se mide en gilberts:

1,259 gilbert = 1 amper-vuelta.

Fuerza sobre un conductor en un campo magnético

1) Conductor colocado en ángulo recto a las líneas de fuerza:

$$F\ \text{(dinas)} = \frac{B\ I\ l}{10}$$

F = fuerza, en dinas
B = densidad de flujo, en gauss
I = corriente, en amperes
l = longitud del conductor, en cm.

2) El conductor forma un ángulo Θ con el campo magnético:

$$F\ (\text{dinas}) = \frac{B\, I\, l}{10}\ \text{sen}\ \theta$$

Fuerza electromotriz inducida
fem inducida en un conductor,

$$E = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \times 10^{-8},$$

Si el flujo varía o es cortado a una velocidad de 100.000.000 ó 10^8 líneas por segundo, se induce en el conductor una fem de 1 volt. Como 10^8 líneas = 1 weber, se puede expresar en el sistema MKS en la siguiente forma:

$$E = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}\ \text{webers/seg}$$

Para una bobina de varias espiras (N), encadenadas por la misma variación de flujo, se inducen iguales fem en cada una de las espiras y el total se suma. Por tanto, la fem inducida en una bobina es:

$$E\ (\text{volts}) = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}\ (\text{líneas/seg}) \times 10^{-8}$$

$$o \quad E\ (\text{volts}) = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}\ (\text{webers/seg})$$

Autoinducción
La fem de autoinducción es proporcional a la velocidad con que varía la corriente:

$$E = -L \frac{di}{dt}$$

donde

$\frac{di}{dt}$ = relación instantánea de variación (derivada) de la corriente respecto del tiempo.

L = coeficiente de autoinducción o inductancia, en henrios.

Una bobina tiene una inductancia de 1 henrio si se induce una fuerza contraelectromotriz (fcem) de 1 volt, cuando la corriente varía a razón de 1 amp/seg.

1 henrio = 10^3 milihenrio = 10^6 microhenrio.

Cálculo de las inductancias

La fórmula general de cálculo para las bobinas es:

$$L = \frac{N\,\Phi}{I} \times 10^{-8} = 4\pi N^2 \mu A \times 10^{-9} \text{ (henrios)}$$

Para un solenoide:

$$L = \frac{4\pi N^2 \mu A}{l} \times 10^{-9}$$

donde
L = inductancia, en henrios
N = número de espiras de la bobina
I = intensidad, en amperes
μ = permeabilidad del medio
A = área de la sección transversal de la bobina en cm²
l = longitud de la bobina.

Inductancia de bobinas de una sola capa con núcleo de aire:

$$L = \frac{(rN)^2}{22{,}8r + 25{,}4l}$$

donde
L = inductancia en microhenrios
r = radio medio de la bobina, cm
l = longitud de la bobina, cm.

Inductancia de bobinas de varias capas con núcleo de aire:

$$L = \frac{0{,}8\,(rN)^2}{15{,}4r + 22{,}8l + 25{,}4b}$$

donde
L = inductancia en microhenrios
b = espesor del bobinado en cm

Inductancia de bobinas de radiofrecuencia:
Se emplea la fórmula de Nagaoka,

$$L = \frac{K(\pi d N)^2}{10^3\, l}$$

donde
L = inductancia en μH
d = diámetro de la bobina
l = longitud de la bobina
N = número de espiras
K = factor que depende de la relación d/l (ver tabla a continuación).

Factor K

d/l	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1	2	3	4	5
K	0,059	0,92	0,85	0,789	0.735	0,68	0,52	0,43	0,36	0,32

Constante de tiempo inductiva

La constante de tiempo (CT) es el tiempo necesario para que la corriente en un circuito inductivo alcance el 63,2 % de su valor final (E/R):

$$CT = \frac{L}{R}$$

donde
CT = constante de tiempo inductiva en segundos
L = inductancia, henrios
R = resistencia total del circuito, en ohms.

En dos constantes de tiempo (CT = 2L/R) la corriente alcanza el 86,5 % de su valor final y en tres (CT = 3L/R) alcanza el 95 %.

Inductancias en serie y en paralelo

Conexión serie (no acopladas inductivamente)

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + \ldots \quad \text{(henrios)}$$

Conexión paralelo (no acopladas inductivamente)

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \ldots \quad \text{(henrios)}$$

Dos bobinas en paralelo (sin acoplamiento mutuo),

$$L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$$

Inductancia mutua

En dos circuitos acoplados inductivamente se induce una fem proporcional a la velocidad de variación (derivada) de la corriente primaria (di_1) y a una constante de proporcionalidad, M, denominado coeficiente de inducción mutua o inductancia mutua.

$$E_2 = M \frac{di_1}{dt}$$

Coeficiente de acoplamiento

En dos bobinas acopladas inductivamente la relación entre las inductancias mutuas (M) y las inductancias individuales (L_1 y L_2) es:

$$M = k \sqrt{L_1 L_2}$$

K es el coeficiente de acoplamiento y tiene un valor que varía entre 0 y 1.

a) Bobinas acopladas en serie.

Cuando los campos se suman mutuamente (serie aditiva) la inductancia total es:

$$L = L_1 + L_2 + 2M \text{ (henrios)}$$

Cuando los campos se oponen mutuamente la inductancia total está dada por:

$$L = L_1 + L_2 - 2M \text{ (henrios)}$$

Las fórmulas anteriores pueden emplearse para determinar la inductancia mutua (M). Primero se conectan las bobinas en serie aditiva y luego en serie sustractiva.

$$M = \frac{L_a - L_b}{4}$$

donde

L_a = inductancia total de las bobinas en serie aditiva

L_b = inductancia total de las bobinas en serie sustractiva.

b) Bobinas acopladas en paralelo.

Cuando los campos se suman mutuamente:

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1 + M} + \frac{1}{L_2 + M}$$

Cuando los campos se oponen:

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1 - M} + \frac{1}{L_2 - M}$$

CAPITULO 4

CORRIENTE ALTERNADA

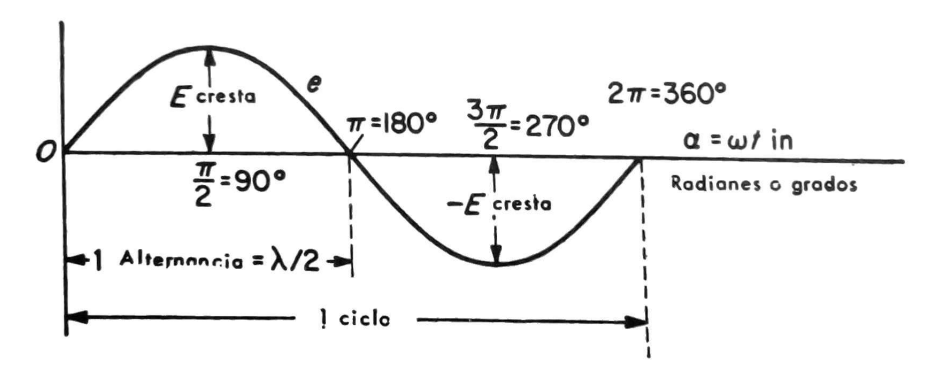
Una espira que gira uniformemente dentro de un campo magnético genera una onda sinusoidal de valor máximo E_m. El ángulo Θ barrido por la espira es igual al producto de la velocidad angular (ω) y el tiempo (t); es decir, $\Theta = \omega t$. Por tanto, el voltaje instantáneo inducido, e, es:

$$e = E_m \operatorname{sen} \theta = E_m \operatorname{sen} \omega t$$

Si el voltaje inducido se aplica a una carga resistiva la corriente instantánea, i, sufrirá similares variaciones respecto de la corriente máxima, I, es decir:

$$i = I_m \operatorname{sen} \theta = I_m \operatorname{sen} \omega t$$

Relaciones entre los diversos valores de una onda



Valor medio de una onda sinusoidal es el 63,7 % del valor máximo o de cresta:

$$E_{media} = 0{,}637 \times E_{cresta}$$

$$E_{cresta} = \frac{1\,(E_{media})}{0{,}637} = 1{,}57\, E_{media}$$

Valor eficaz es aquel que produce la misma cantidad de calor en una resistencia que una tensión o corriente continua del mismo valor numérico.

Las relaciones anteriores se resumen:

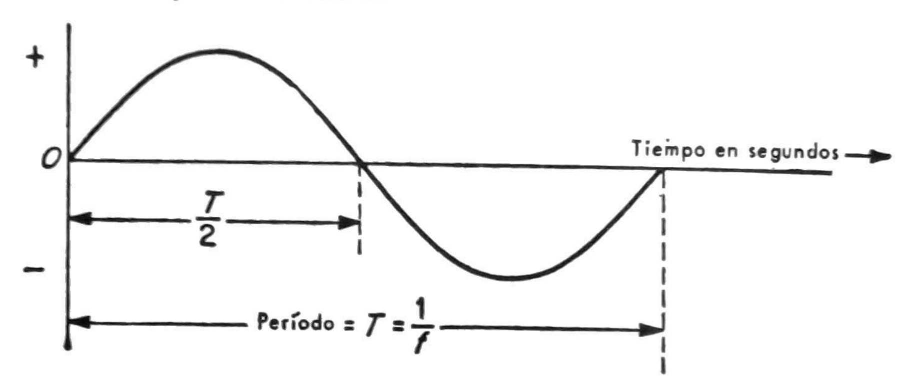
$$E_{eficaz} = 0{,}707 \times E_{cresta}$$

$$E_{cresta} = 0{,}5\ E_{cresta\ a\ cresta} = \frac{1}{0{,}707} E_{eficaz} = 1{,}414\ E_{eficaz}$$

$$E_{c,c} = 2 \times 1{,}414\ E_{eficaz} = 2{,}828\ E_{eficaz}$$

	Medio	*Eficaz*	*Cresta*	*C-C*
Medio	—	1,11	1,57	1,274
Eficaz	0,9	—	1,414	2,828
Cresta	0,637	0,707	—	2,0
C-C	0,3185	0,3535	0,50	—

Longitud de onda y frecuencia



$$f = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{T}$$

λ = longitud de onda en metros
f = frecuencia en ciclos por segundo
T = período = duración de un ciclo completo, en segundos.

Nota: Por convención internacional, en el año 1966 se estableció el Hertz (Hz) como unidad de frecuencia.

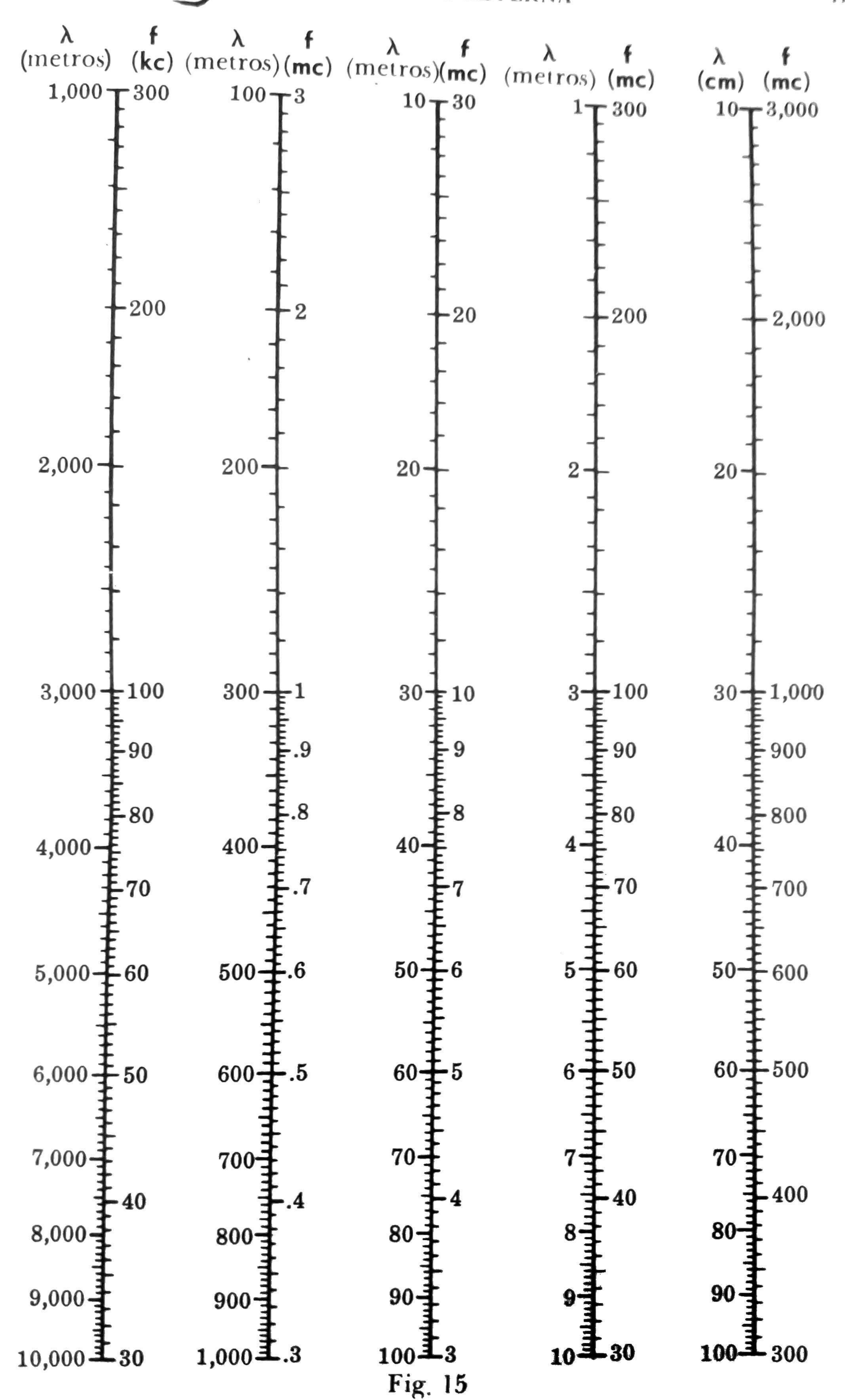
Para transformar longitud de onda en frecuencia:

$$f\ (\text{kilociclos}) = \frac{3 \times 10^5}{\lambda\ (\text{metros})} \qquad f\ (\text{megaciclos}) = \frac{3 \times 10^4}{\lambda\ (\text{centímetros})}$$

$$f\ (\text{megaciclos}) = \frac{984}{\lambda\ (\text{pies})}$$

1 kilohertz = 1 kilociclo = 1 kc/s = 1.000 c/s = 10^3 c/s = 10^3hz
1 megahertz = 1 megaciclo = 1 Mc/s = 1.000.000 c/s = 10^6 c/s = 10^6hz

Por medio del gráfico de la Fig. 15 se puede convertir rápidamente longitud de onda en frecuencia.


λ (metros) f (kc)
1,000 300
200
2,000
3,000 100
90
80
4,000
70
5,000 60
6,000 50
7,000
40
8,000
9,000
10,000 30
λ (metros) f (mc)
100 3
2
200
300 1
.9
.8
400
.7
500 .6
600 .5
700
.4
800
900
1,000 .3
λ (metros) f (mc)
10 30
20
20
30 10
9
8
40
7
50 6
60 5
70
4
80
90
100 3
λ (metros) f (mc)
1 300
200
2
3 100
90
80
4
70
5 60
6 50
7
40
8
9
10 30
λ (cm) f (mc)
10 3,000
2,000
20
30 1,000
900
800
40
700
50 600
60 500
70
400
80
90
100 300
Fig. 15

Velocidad de una onda

$$V = \frac{D}{T}$$

donde
D = distancia recorrida, en metros
V = velocidad en metros por segundo
T = tiempo en segundos.

Si se hace $\lambda = D$ (tiempo que tarda una onda en recorrer un espacio igual a su longitud de onda) se tiene:

$$V = \frac{\lambda}{1/f} = f \times \lambda$$

La velocidad de una onda en el espacio es, aproximadamente:
300.000.000 metros por segundo (3×10^8 m/s).
186.000 millas por segundo.
984 pies por microsegundo.

Impedancia y reactancia

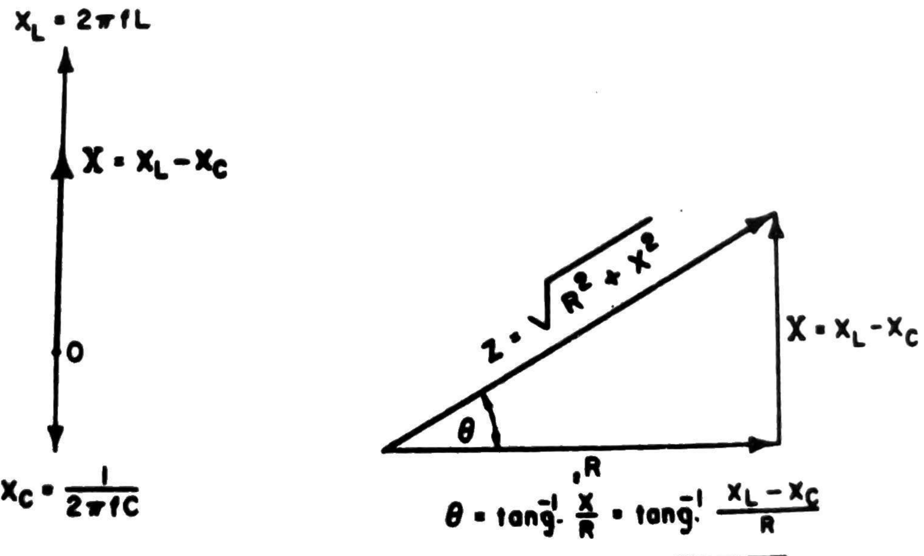
La impedancia es la oposición a la circulación de CA y se mide en ohms. Está compuesta por una resistencia y una reactancia inductiva o capacitiva, que también se mide en ohms.

Reactancia inductiva = $X_L = 2\pi f L = 6{,}283 f L$ (aprox.) ohms

Reactancia capacitiva = $X_C = \frac{1}{2\pi fC} \approx \frac{0{,}1592}{f C}$ ohms

Impedancia = $Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}$$



(A) Reactancia neta $X = X_L - X_C$ (B) Impedancia $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$

Las inversas de las expresiones anteriores constituyen la conductancia, susceptancia y admitancia:

$$\text{Conductancia} = G = \frac{R}{R^2 + X^2}$$

$$\text{Susceptancia} = B = \frac{1}{X}$$

$$\text{Admitancia} = Y = \frac{1}{Z}$$

Las diversas transformaciones para circuitos de CA son:

Tensión:	$E = IZ$	$= I/Y$
Intensidad:	$I = E/Z$	$= EY$
Impedancia:	$Z = E/I$	$= \sqrt{R^2 + X^2}$
Admitancia:	$Y = 1/Z$	$= \sqrt{G^2 + B^2}$
Conductancia:	$G = R/Z^2$	$= R/(R + X^2)$
Susceptancia:	$B = -X/Z^2$	$= -X//(R^2 + X^2)$
Potencia:	$P = EI \cos \phi$	$= I^2Z \cos = I^2R = E^2 \cos \phi/Z$

($\varnothing$ = ángulo de fase entre la tensión y la corriente.)

CA en inductancia pura

La corriente alternada que circula por una inductancia está atrasada 90° respecto del voltaje aplicado. La oposición al pasaje de la corriente alternada por una inductancia se denomina reactancia inductiva (X_L).

$$X_L = 2\pi f L$$

donde,
X_L = reactancia inductiva, ohms
f = frecuencia, c/s
L = inductancia, henrios

La corriente que circula por una inductancia pura (sin resistencia óhmica) es:

$$I = \frac{E}{X_L} = \frac{E}{2\pi fL}$$

CA en capacidad pura

En un circuito capacitivo la corriente está adelantada 90° respecto del voltaje aplicado. La oposición al paso de la corriente es la reactancia capacitiva (X_c), expresada en ohms.

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \approx \frac{0{,}1592}{f\,C}$$

donde.
X_C = reactancia capacitiva, ohms
f = frecuencia, c/s
C = capacidad, faradios.

Impedancia en circuito serie

La oposición al paso de la corriente alternada en un circuito se denomina impedancia (Z), incluyéndose la resistencia óhmica y las reactancias capacitiva e inductiva. Las reactancias capacitiva e inductiva están

180° fuera de fase. La reactancia neta es el vector suma de la reactancia inductiva (X_L) y de la reactancia capacitiva (X_C) (ver Fig. 16). Es numéricamente igual a la diferencia aritmética entre X_L y X_C:

Reactancia neta, $$X = X_L - X_C = 2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}$$

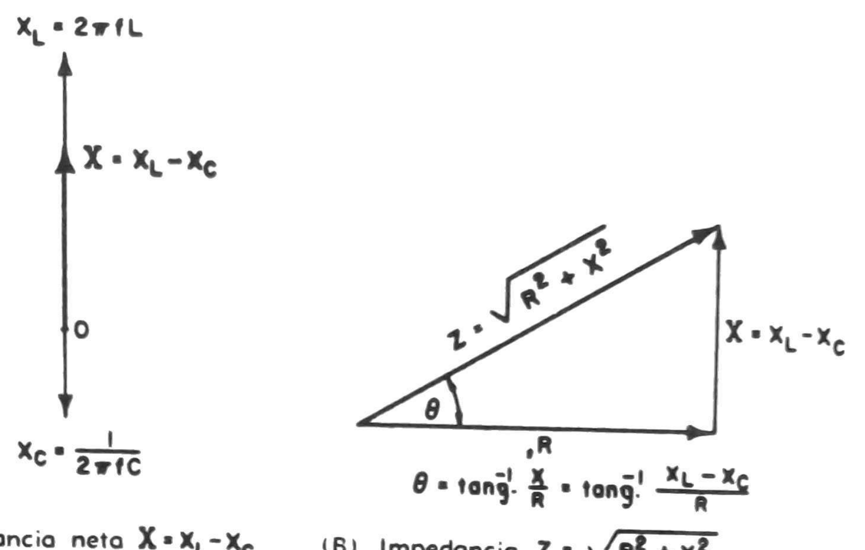


Fig. 16

La impedancia total (Z) del circuito es la suma vectorial de la resistencia óhmica (R) y de la reactancia neta (X) (ver Fig. 16):

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}$$

El ángulo de fase (Θ) es el formado por los vectores Z y R.

$$\theta = \text{tang}^{-1}\frac{X}{R} = \text{tang}^{-1}\frac{X_L - X_C}{R} = \text{tang}^{-1}\frac{\left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)}{R}$$

Impedancia en paralelo

En la Tabla Nº 5 se han resumido las fórmulas para la resolución de los diversos casos que pueden presentarse. En el caso general de dos impedancias Z_1 y Z_2 conectadas en paralelo, la impedancia total resultante es:

$$Z = \frac{|Z_1|\ |Z_2|}{|Z_1 + Z_2|}$$

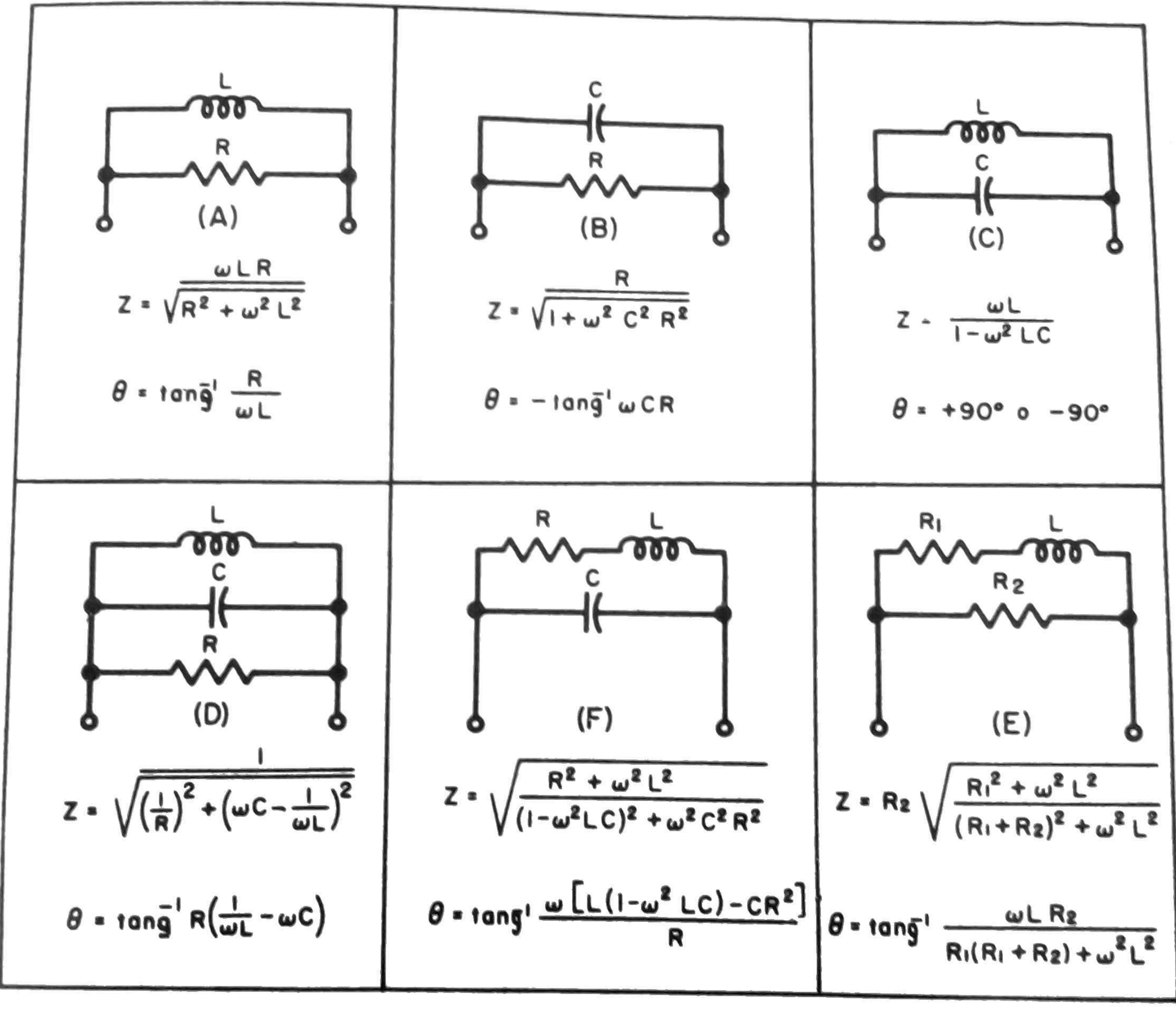
donde $|Z_1| = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}$, $|Z_2| = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$

y $|Z_1 + Z_2| = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}$

$$\text{ángulo de fase, } \theta = \text{tang}^{-1}\frac{X_1}{R_1} + \text{tang}^{-1}\frac{X_2}{R_2} - \text{tang}^{-1}\frac{X_1 + X_2}{R_1 + R_2}$$

TABLA Nº 6 - FÓRMULAS PARA LA RESOLUCIÓN DE IMPEDANCIAS EN PARALELO

NOTA: $\omega = 2\pi f$; $\theta = \text{tang}^{-1}\frac{X}{R}$



Nomograma para la determinación de las impedancias

En la Fig. 17 se ha representado un nomograma que permite la rápida determinación de la impedancia cuando se conocen la reactancia y la resistencia. El mismo nomograma permite determinar el ángulo de fase entre ambos componentes. Sea, por ejemplo, determinar la impedancia de un conjunto formado por una resistencia de 20 ohms y una reactancia de 13 ohms. Se busca en el eje horizontal el valor correspondiente a 13 ohms y se sigue esa línea vertical hasta cruzar con la horizontal correspondiente a 20 ohms de resistencia. En ese punto cruza una línea diagonal correspondiente al ángulo de 57°, que corresponde al defasaje, y una línea curva correspondiente a 24 ohms de impedancia.

Nomograma para la determinación de las impedancias

← ángulo de fase,

90 85 80 75 70 65 60 55 50 45 40 35 30 25 20 15 10 5

Impedancia

2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36

reactancia, ohms

2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28

resistencia en ohms.

2 4 6 8 10 12 14 16 18 20

Fig. 17

Resonancia serie

El circuito está en resonancia para la frecuencia en la cual las reactancias capacitiva e inductiva son iguales ($X_L = X_C$). La frecuencia de resonancia es:

$$X_L = X_C$$

$$2\pi f_r L = \frac{1}{2\pi f_r C}$$

$$f_r^2 = \frac{1}{4\pi^2 L C}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{L C}}$$

donde f_r = frecuencia en ciclos/segundo
L = inductancia en henrios
C = capacidad en faradios

$$f_r = \frac{159{,}1}{\sqrt{L C}}$$ si C = picofaradios ($\mu\mu F$)
L = microhenrios
f_r = megaciclos

En resonancia Z = R (resistencia serie del circuito) y su valor es mínimo.

Cte. en resonancia = $I = \frac{E}{Z} = \frac{E}{R}$

Factor de potencia = $\cos\theta = \frac{R}{Z} = \frac{R}{R} = 1$

ángulo de fase, $\theta = \tan^{-1}\frac{X}{R} = \tan^{-1} 0 = 0°$

En resonancia la corriente está en fase con el voltaje aplicado.

Factor de calidad (Q)

La relación de la reactancia de la bobina o del condensador, a la frecuencia de resonancia, con la resistencia, se denomina Q (factor de calidad) del circuito y determina la agudeza de la curva de resonancia.

$$Q = \frac{X}{R} = \frac{2\pi f L}{R} = \frac{1}{2\pi f C R}$$

En resonancia, la caída de voltaje sobre la bobina o el condensador es Q veces el voltaje aplicado:

Sobre la bobina: $E_L = I X_L = \frac{E}{R} X_L = \frac{X_L}{R} E = Q E$

Sobre el condensador: $E_C = I\,X_C = \dfrac{E}{R}\,X_C = \dfrac{X_C}{R}\,E = Q\,E$

Q de un circuito resonante LC

Una bobina de Q_L, conectada en paralelo con un condensador de calidad Q_C, a la frecuencia de resonancia f_0, forman un circuito cuya calidad es:

$$Q_{total} = \frac{Q_L\,Q_C}{Q_L + Q_C} = \frac{Q_L}{1 + \dfrac{Q_L}{Q_C}}$$

La expresión anterior es válida únicamente para los casos en que Q_L y Q_C son mayores que 10.

Q resultante de dos bobinas en serie

Una bobina L_1 de calidad Q_1, conectada en serie con otra bobina L_2 de calidad Q_2, presentan un Q resultante dado por la siguiente expresión:

$$Q_{total} = Q_1 \frac{1 + \dfrac{X_1}{X_2}}{\dfrac{Q_1}{Q_2} + \dfrac{X_1}{X_2}}$$

siendo $\omega = 2\pi f$; $X_1 = \omega L_1$; $X_2 = \omega L_2$

Resonancia paralelo

En un circuito paralelo formado por una rama capacitiva y otra inductiva, en el cual cualquiera de las ramas, o ambas, pueden tener resistencia serie (Fig. 18), la resonancia paralelo se define en los siguientes términos:

1) La frecuencia a la cual la reactancia inductiva iguala a la reactancia capacitiva ($X_L = X_C$).

2) La frecuencia a la cual la corriente total de línea está en fase con el voltaje aplicado, condición para factor de potencia igual a 1.

3) La frecuencia a la cual la impedancia del circuito sintonizado pa-

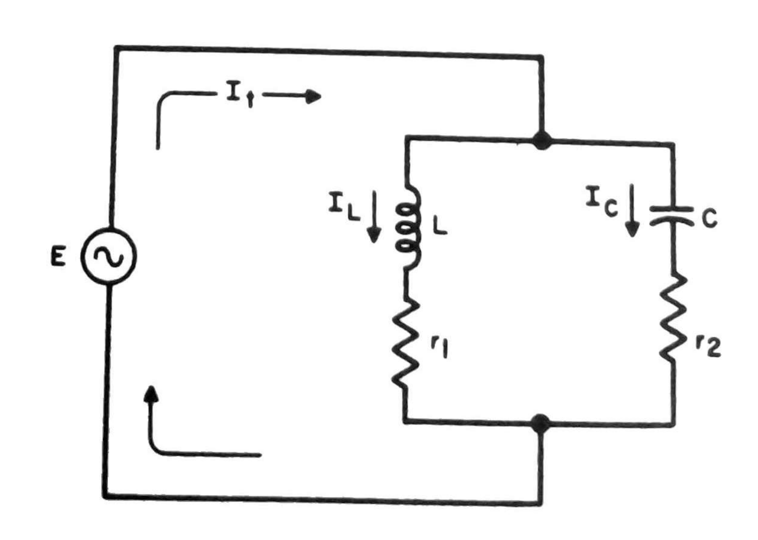


Fig. 18

ralelo es máxima y, por tanto, la corriente es mínima.

frecuencia de resonancia, $f_r = \dfrac{1}{2\pi \sqrt{L\,C}}$ (para Q mayor que 10).

Cuando el Q es mayor que 10:

impedancia total, $Z = Q\,X = Q\,\omega\,L = \dfrac{\omega\,L}{\omega\,C\,R} = \dfrac{L}{C\,R}$ (ohms)

donde $Q = X/R$, $X = 2\pi\, f_r L$ o $\dfrac{1}{2\pi\, f_r C}$,

y $R = r_1 + r_2$.

La corriente de línea es, $I_t = \dfrac{E}{Z} = \dfrac{E}{Q\,\omega\,L}$

la corriente en las ramas es, $I_L = I_C = Q\,I_t$

TABLA Nº 7 - PRODUCTOS LC

λ (en m)	f (en kc/s)	Producto LC (en μH y pF)	λ (en m)	f (en kc/s)	Producto LC (en μH y pF)
5	60 000	7	300	1 000	25 000
6	50 000	10	350	857	34 000
7	42 900	14	400	750	44 500
8	37 500	18	450	667	56 500
9	33 300	23	500	600	70 000
10	30 000	28	550	546	84 000
13	23 100	47	600	500	100 000
15	20 000	63	645	465	120 000
20	15 000	110	700	429	140 000
25	12 000	170	750	400	160 000
30	10 000	250	800	375	180 000
35	8 570	340	900	333	230 000
40	7 500	445	1 000	300	280 000
45	6 670	565	1 100	273	340 000
50	6 000	700	1 200	250	400 000
60	5 000	1 000	1 300	231	470 000
70	4 290	1 400	1 400	214	550 000
80	3 750	1 800	1 500	200	630 000
90	3 300	2 300	1 600	188	715 000
100	3 000	2 800	1 700	176	805 000
200	1 500	11 000	1 800	167	890 000
250	1 200	17 000	2 000	150	1 100 000

Empleo de la tabla de productos LC

En la Tabla Nº 7 se han agrupado una serie de productos LC que permiten efectuar cálculos rápidos. La tabla da la longitud de onda (en metros), la frecuencia y el producto LC. La tabla permite calcular rápidamente, conociendo el producto LC, cuál es el valor de un componente para determinada frecuencia, con el fin de obtener un circuito oscilante.

Equivalencia entre circuitos complejos conectados en serie y en paralelo

Se puede pasar de un circuito paralelo a otro equivalente en serie, y viceversa, por medio de las siguientes fórmulas (Fig. 19):

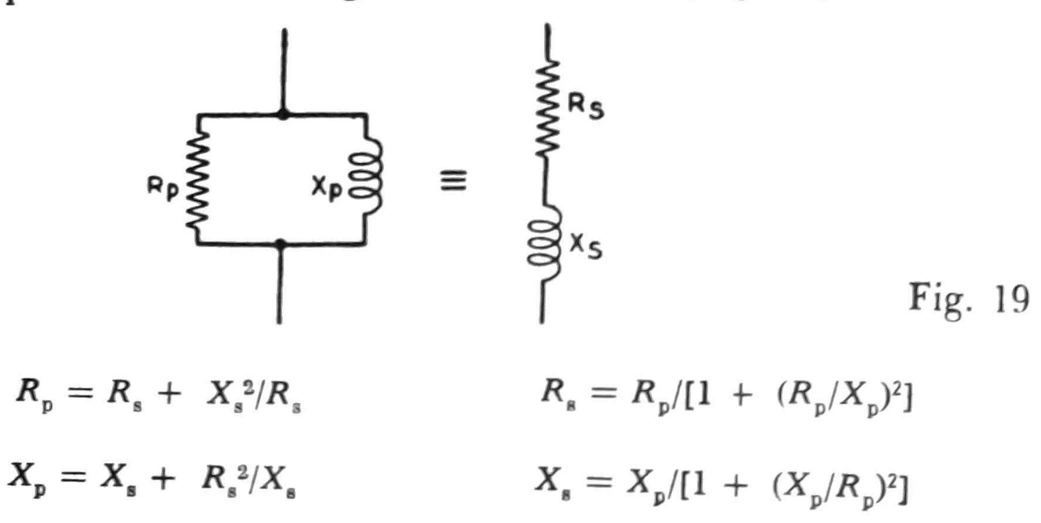


Fig. 19

$R_p = R_s + X_s^2/R_s$ $\qquad$ $R_s = R_p/[1 + (R_p/X_p)^2]$

$X_p = X_s + R_s^2/X_s$ $\qquad$ $X_s = X_p/[1 + (X_p/R_p)^2]$

Equivalencia entre las conexiones triángulo y estrella

Un conjunto de impedancias Z_a, Z_b y Z_c, conectadas en estrella, equivalen a un conjunto de impedancias Z_1, Z_2 y Z_3, conectadas en triángulo (Fig. 20).

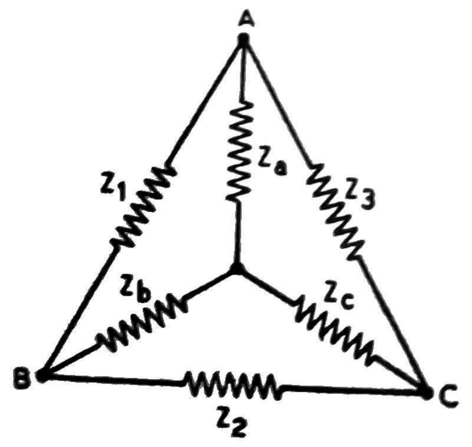


Fig. 20

$$Z_a = Z_1 Z_3/(Z_1 + Z_2 + Z_3)$$

$$Z_b = Z_1 Z_2/(Z_1 + Z_2 + Z_3)$$

$$Z_c = Z_2 Z_3/(Z_1 + Z_2 + Z_3)$$

Para la transformación inversa:

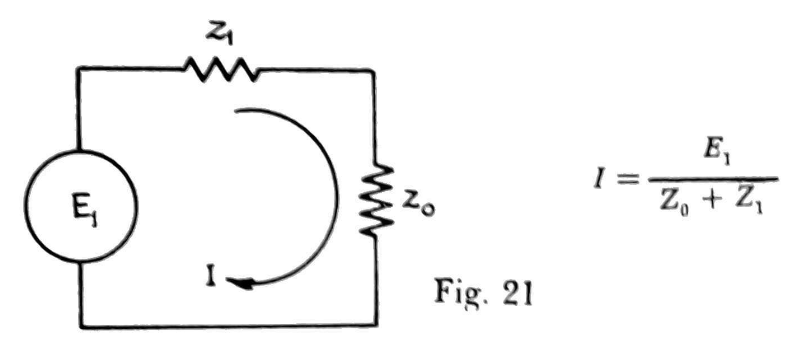
$$Z_1 = Z_a + Z_b + Z_a Z_b/Z_c$$

$$Z_2 = Z_b + Z_c + Z_b Z_c/Z_a$$

$$Z_3 = Z_c + Z_a + Z_a Z_c/Z_b$$

Teorema de Thevenin

La corriente que circula por cualquier rama de un circuito, que contiene una o más fuentes de tensión, es la misma que la que circularía si estuviera conectada a un generador de fem E_1, de impedancia interna Z_1 (Fig. 21)



$$I = \frac{E_1}{Z_0 + Z_1}$$

Fig. 21

siendo E_1 = tensión que aparece sobre los terminales cuando no está conectada la impedancia de carga.

Z_1 = impedancia que se mediría entre los terminales cuando todas las fuentes de tensión se reemplazaran por sus impedancias internas.

CAPÍTULO 5

TRANSFORMADORES Y BOBINAS CON NÚCLEO DE HIERRO

Relación de transformación

La relación de espiras para un transformador ideal, con un rendimiento del 100 %, es:

$$k = \frac{N_2}{N_1} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

siendo N_1, N_2 = número de espiras del primario y del secundario.
E_1, E_2 = tensiones en el primario y secundario.
I_1, I_2 = intensidades del primario y secundario.

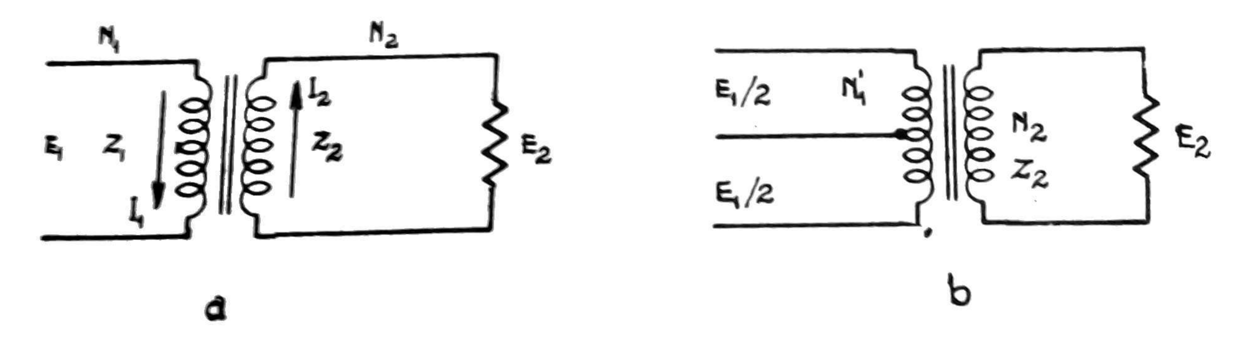
Cuando la regulación de tensión es v % (entre vacío y plena carga) la relación de transformación es:

$$k = \frac{E_2(1 + v/100)}{E_1}$$

Si el rendimiento es mayor que el 50 %, la relación de transformación es:

$$\frac{E_2}{\sqrt{\eta}E_1}$$ siendo η = rendimiento del transformador.

Impedancia equivalente del transformador (Fig. 22)



Impedancia equivalente de la carga sobre el secundario, referida a los terminales del primario:

a) Doble arrollamiento, sin tener en cuenta las impedancias de los devanados:

$$Z_1 = Z_2/k^2$$

b) Doble arrollamiento, teniendo en cuenta las impedancias de los devanados:

$$Z_1 = Z_1' + (Z_2 + Z_2')/k^2$$

c) Doble arrollamiento, con derivación central en el primario. Cada mitad:

$$Z_1 = Z_2/4k^2$$

d) Primario con varias derivaciones. Sección derivada (Fig. 22 b),

$$Z' = Z(N'/N)^2$$

En las expresiones anteriores:

Z_1 = impedancia de carga del primario.
Z_2 = impedancia de carga del secundario.
Z'_1 = impedancia del arrollamiento primario.
Z'_2 = impedancia del arrollamiento secundario.
Z' = impedancia de carga de la sección derivada.
Z = impedancia de carga del total del arrollamiento.
N' = número de espiras de la sección derivada.
N = número de espiras en el total del arrollamiento.

Rendimiento y pérdidas de potencia del transformador

Rendimiento .... $\eta = P_2/(P_2 + P_c + P_i)$
Potencia de entrada .... $P_1 = P_2/\eta$
Pérdidas totales de potencia .... $P_L = P_2(1/\eta - 1)$
Pérdidas en el cobre .... $P_c = P_L/2$
Pérdidas en el núcleo .... $P_i = P_L/2$
Pérdidas en el cobre del primario .... $P_{c1} = I_1^2 R_1$
Pérdidas en el cobre del secundario .... $P_{c2} = I_1^2 R_2$
Pérdidas por corrientes parásitas del hierro (ergs/ciclo/cm² de hierro) .... $P_e = KB^{1,6}$
Pérdidas por histéresis (vatios/cm²) .... $P = fKB^{1,6} \times 10^{-7}$

En las expresiones anteriores:

P_2 = volts-amperes del secundario.
R_1 = resistencia del bobinado primario.
R_2 = resistencia del bobinado secundario.
K = factor que depende del tipo de hierro.
B = densidad de flujo, líneas por cm².
f = frecuencia, c/s.

Diseño simplificado de transformadores de poder

En el diseño simplificado se calcula primero el bobinado y luego el

tamaño del núcleo. Se comienza calculando la tensión específica, es decir, la relación que existe entre la f.e.m. inducida en cada devanado y la cantidad de espiras del mismo.

$$V_e = \frac{E}{N} = A\sqrt{P_a}$$

donde A = coeficiente que se da en la Tabla Nº 8.
P_a = potencia aparente del transformador, en volt-amper.

TABLA Nº 8 - VALOR DEL COEFICIENTE A

Tipo de transformador	*Valor de A*	
	Máximo	*Mínimo*
Núcleo de anillo:		
servicio intermit.	0,022	0,014
servicio continuo	0,030	0,020
Núcleo acorazado (E):		
servicio intermit.	0,026	0,025
servicio continuo	0,045	0,033

Nota: Al diseñar el transformador los valores máximos del coeficiente A se tomarán para las tensiones más bajas.

El número de espiras para cada devanado es:

$$N = \frac{E}{V_e}$$

donde
N = número de espiras
E = tensiones respectivas del primario o secundario
V_e = tensión específica.

A continuación se calcula el núcleo del transformador:

$$S = \frac{V_e\ 10^8}{4{,}44\ f\ B}$$

donde
S = sección del núcleo, en cm^2
V_e = tensión específica
f = frecuencia, en c/s
B = inducción máxima, en gauss.

En la práctica la inducción se toma entre las siguientes cifras:

Para servicio intermitente .... B = 10.000 a 13.000 gauss.
Para servicio continuo .... B = 13.000 a 15.000 gauss.

Conocida la sección del núcleo, sobre la base de ésta se puede dimensionar el núcleo de acuerdo con las relaciones indicadas en la Fig. 23.

El diámetro de los conductores empleados en los devanados se calcula a base de la densidad máxima permisible, según las condiciones de trabajo, valores que se indican en la Tabla Nº 9.

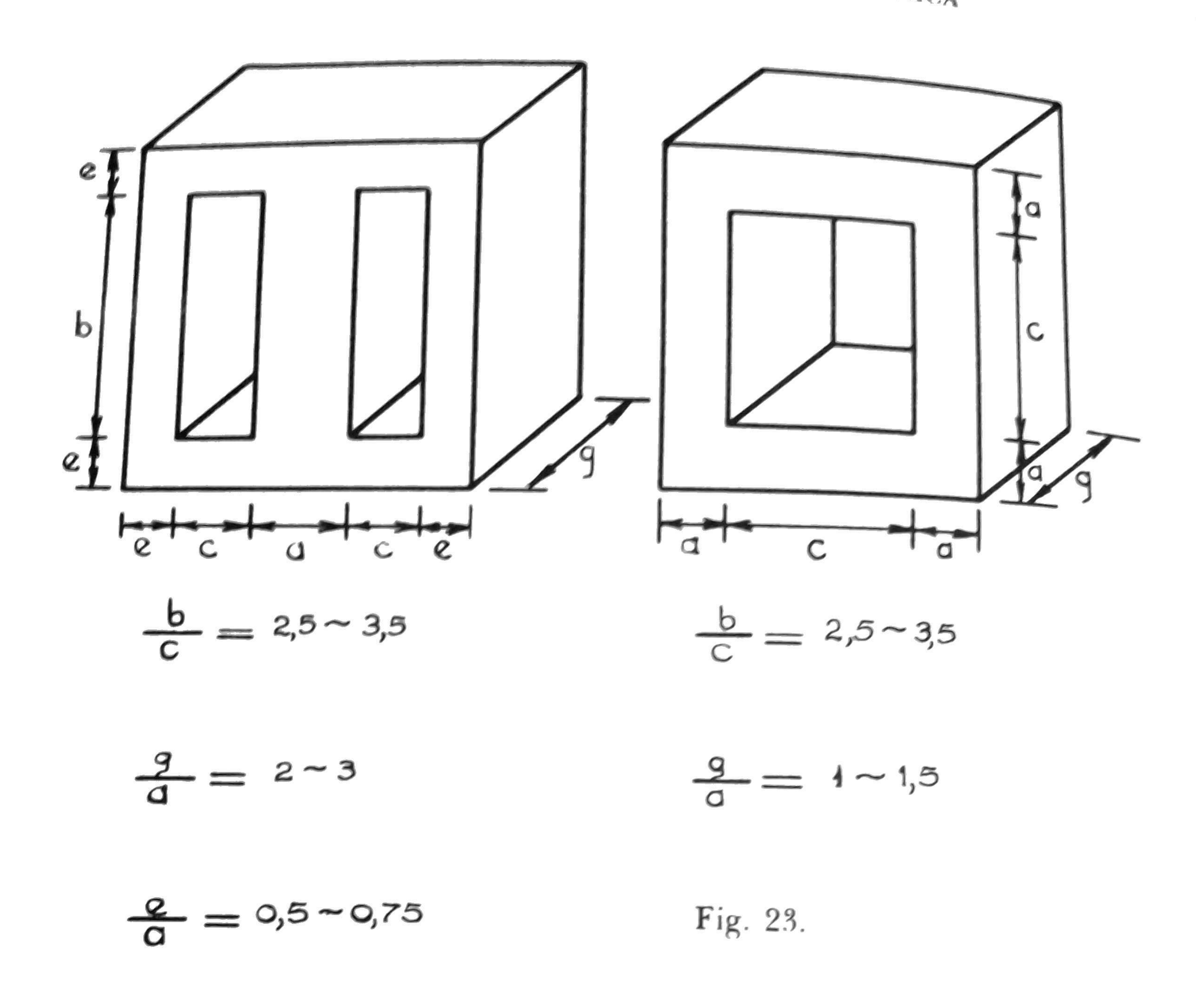


Fig. 23.

TABLA Nº 9 - DENSIDAD DE CORRIENTE EN BOBINADOS PARA TRANSFORMADORES

Tipo de transformador	*Densidad de cte. (Amp/mm²)*
Común, bobinados al aire	1,0 a 2,0
Baño de aceite, refrig. natural	1,5 a 2,5
Refrigeración por agua	2,5 a 3,0
Baño de aceite con refrig. forzada	2,5 a 3,5

Conocida la sección en mm², por medio de la Tabla Nº 10 se determina el diámetro de los conductores. La misma tabla permite calcular el peso del cobre y la resistencia de los devanados.

TABLA Nº 10 - ALAMBRES DE COBRE PARA BOBINAJE

Diámetro mm	Sección mm^2	Peso g/km	Resistencia ohms/m	Longitud metros/kg
0,05	0,00196	17,5	8,91	57140
0,06	0,00283	25,2	6,19	39680
0,07	0,00385	34,3	4,55	29150
0,08	0,00503	44,8	3,48	22320
0,09	0,00636	56,7	2,75	17637
0,10	0,00785	70,0	2,23	14286
0,12	0,0113	101	1,55	9921
0,14	0,0154	137	1,137	7289
0,15	0,0177	157	0,990	6349
0,16	0,0201	179	0,870	5580
0,18	0,0254	227	0,688	4409
0,20	0,0314	280	0,557	3571
0,22	0,0380	339	0,460	2952
0,25	0,0491	437	0,356	2286
0,28	0,0616	549	0,284	1822
0,30	0,0707	630	0,248	1587
0,32	0,0804	717	0,218	1395
0,35	0,0962	857	0,182	1166
0,38	0,1134	1011	0,154	989,3
0,40	0,1257	1120	0,139	892,9
0,42	0,1385	1235	0,126	809,9
0,45	0,1590	1417	0,110	705,5
0,48	0,1810	1613	0,0967	620,0
0,50	0,1963	1750	0,0891	571,4
0,52	0,2124	1893	0,0824	528,3
0,55	0,2376	2118	0,0737	472,3
0,58	0,2642	2355	0,0662	424,7
0,60	0,2827	2520	0,0619	396,8
0,62	0,3019	2691	0,0580	371,6
0,65	0,3318	2957	0,0527	338,1
0,68	0,3632	3237	0,0482	308,9
0,70	0,3848	3430	0,0455	291,5
0,75	0,4418	3937	0,0396	254,0
0,80	0,5027	4480	0,0348	223,2
0,85	0,5675	5057	0,0308	197,7
0,90	0,6362	5670	0,0275	176,3
0,95	0,7088	6317	0,0247	158,4
1,00	0,7854	7000	0,0223	142,9
1,05	0,8659	7717	0,0202	129,6
1,10	0,9503	8470	0,0184	118,1
1,15	1,0387	9257	0,0168	108,0
1,20	1,131	10,080	15,47	99,21
1,25	1,227	10,937	14,26	91,43
1,30	1,327	11,830	13,18	84,53
1,35	1,431	12,757	12,23	78,39
1,40	1,539	13,720	11,37	72,89
1,50	1,767	15,750	9,903	63,49
1,60	2,011	17,92	8,704	55,80
1,70	2,270	20,23	7,710	49,43
1,80	2,545	22,68	6,877	44,09
1,90	2,835	25,27	6,172	39,57
2,00	3,142	28,00	5,570	35,71
2,1	3,464	30,87	5,053	32,39
2,2	3,801	33,88	4,604	29,52
2,3	4,155	37,03	4,212	27,01
2,4	4,524	40,32	3,868	24,80
2,5	4,909	43,75	3,565	22,86
2,6	5,309	47,32	3,296	21,13
2,7	5,726	51,03	3,056	19,60
2,8	6,158	54,88	2,842	18,22
2,9	6,605	58,87	2,649	16,99
3,0	7,069	63,00	2,476	15,87
3,1	7,548	67,27	2,319	14,86
3,2	8,042	71,68	2,176	13,95
3,3	8,553	76,23	2,046	13,12
3,4	9,079	80,92	1,927	12,36
3,5	9,621	85,75	1,819	11,66
3,6	10,179	90,72	1,719	11,02
3,7	10,752	95,83	1,628	10,43

TABLA Nº 10 - ALAMBRES DE COBRE PARA BOBINAJE

(Conclusión)

Diámetro mm	Sección mm²	Peso g/km	Resistencia ohms/m	Longitud metros/kg
3,8	11,341	101,08	1,543	9,893
3,9	11,946	106,47	1,465	9,392
4,0	12,566	112,00	1,393	8,929
4,2	13,854	123,48	1,263	8,099
4,4	15,205	135,52	1,151	7,379
4,5	15,904	141,75	1,100	7,055
4,6	16,619	148,12	1,053	6,751
4,8	18,096	161,28	0,967	6,200
5,0	19,635	175,00	0,891	5,714
5,5	23,758	211,45	0,737	4,723
5,8	26,421	235,14	0,662	4,247
6,0	28,274	251,64	0,619	3,968
6,5	33,183	295,33	0,527	3,381

Cálculo simplificado para transformadores muy pequeños

El método que se indica a continuación se emplea para el cálculo de transformadores de hasta 1000 VA.

Sección del núcleo: $$S = 1{,}5\sqrt{P_a}$$

Espiras en el primario: $$N_1 = \frac{10^8 \; V_1}{4{,}44 \; f \; S \; B}$$

Espiras en el secundario: $$N_2 = \frac{V_2 \; N_1}{V_1}$$

En las fórmulas anteriores:

- S = sección del núcleo, en cm².
- P_a = potencia aparente del transformador, en VA.
- V_1 = tensión primaria, en volts.
- V_2 = tensión secundaria, en volts.
- B = inducción en gauss (en estos tipos se toma de 8.000 a 10.000 gauss).
- f = frecuencia en c/s.

La sección de los conductores se determina a base de la densidad de corriente comprendida entre 1,0 y 2,0 A/mm².

Cálculo de inductancias sin corriente continua

Las fórmulas que se indican a continuación son aplicables a transformadores de audiofrecuencia con compensación de corriente continua en el primario y sin componente continua en el secundario.

$$B = \frac{10^8 E}{N \omega S} \qquad L = \frac{1{,}25 \cdot 10^{-8} N^2 S}{\frac{l_h}{\mu} + la}$$

$$N = \frac{L B \omega}{k E} \qquad S = \frac{L \cdot 10^8}{k N^2}$$

En las fórmulas anteriores:

E = valor de cresta de la tensión alternada.
$\omega = 2\pi f$ (f en c/s).
S = sección del núcleo en cm^2.
N = número de espiras del bobinado al cual se aplica E.
l_h = longitud del circuito magnético, en cm.
μ = permeabilidad correspondiente al valor de B.
l_a = entrehierro, en cm.
k = ver a continuación.

El valor de k se fija previamente, en primera aproximación, al comenzar el diseño:

k = 10 a 20, para grandes transformadores.
k = 40 a 60, para transformadores medianos.
k = 100, para transformadores pequeños.

Con las fórmulas anteriores y el valor previo de k se determina N y S, se halla l_h y se verifica el valor de k por medio de la fórmula que se indica a continuación, después de lo cual se rehace el diseño.

$$k = \frac{1{,}25 \mu}{l_h + \mu l_a}$$

Cálculo de inductancias de filtro

Se emplea para inductancias de filtro en las cuales la componente de corriente continua es mucho mayor que la componente de corriente alternada.

$$L = \frac{1{,}26 N^2 S}{l_a}$$

En la fórmula anterior:

L = inductancia en henrios.
N = número de espiras del devanado.
S = sección del núcleo en cm^2.
l_a = longitud del entrehierro (aire), en cm.

A continuación, en la Tabla Nº 11 se proporcionan 36 diseños distintos de inductancias de filtro, empleando un núcleo de hierro con una rama central de 3,8 x 1,9 cm (7,2 cm^2). Para cada uno de los seis valores de CC circulante se dan seis valores de inductancia. Éstos necesitan devanados distintos, de los cuales se expresan en la tabla el número de espiras y sus resistencias respectivas. Para cada uno de los devanados se indica también la caída de tensión en CC.

En la tabla Nº 12 se especifican los entrehierros necesarios para dos longitudes magnéticas diferentes (5 cm y 50 cm) y para distintos valores de amper-vueltas magnetizantes.

TABLA Nº 11 - DATOS CONSTRUCTIVOS DE INDUCTANCIAS DE FILTRO CON NÚCLEO DE 7,2 cm^2

Corriente mA	Inductancia henrios	Resistencia ohms	Caída de tensión CC volts	Espiras
10	30	100	1	2200
	50	200	2	3200
	70	350	3,5	4100
	100	550	5,5	5300
	150	1000	10,0	7300
	200	1600	16,0	9000
15	10	30	0,45	1200
	15	50	0,75	1600
	20	75	1,1	2000
	30	140	2,1	2700
	50	300	4,5	3900
	70	500	7,5	5000
20	10	35	0,7	1400
	15	65	1,3	1800
	20	100	2,0	2200
	30	180	3,6	3000
	50	400	8,0	4500
	70	650	13,0	6000
30	10	55	1,7	1700

TABLA Nº 11 - DATOS CONSTRUCTIVOS DE INDUCTANCIAS DE FILTRO CON NUCLEO DE 7,2 cm^2

Corriente mA	Inductancia henrios	Resistencia ohms	Caída de tensión CC volts	Espiras
	15	100	3,0	2200
	20	150	4,5	2800
	30	270	8,1	3700
	50	600	18,0	5700
	70	1000	30,0	7300
50	10	90	4,5	2100
	15	160	8,0	2900
	20	250	12,5	3600
	30	450	23,0	4800
	50	1000	50,0	6500
	70	1600	80,0	9000
70	5	45	3,0	1500
	7	75	5,0	2000
	10	120	8,5	2500
	15	230	16,0	3400
	20	350	24,0	4100
	30	650	45,0	6000

TABLA Nº 12 - ENTREHIERRO PARA INDUCTANCIAS CON CORRIENTE CONTINUA CIRCULANTE

Amper-vueltas magnetizantes	Entrehierro, en mm	
	Longitud del circuito magnético, 5 cm	Longitud del circuito magnético, 50 cm
10	0,008	—
15	0,012	—
20	0,016	—
30	0,022	—
50	0,035	—
70	0,050	0,058
100	0,064	0,081
150	0,094	0,117
200	0,120	0,152
300	0,173	0,215

TABLA Nº 12 - ENTREHIERRO PARA INDUCTANCIAS CON CORRIENTE CONTINUA CIRCULANTE

Amper-vueltas magnetizantes	Entrehierro, en mm	
	Longitud del circuito magnético, 5 cm	Longitud del circuito magnético, 50 cm
500	0,266	0,343
700	0,370	0,460
1000	0,510	0,640
1500	0,720	0,920
2000	0,940	1,200
3000	1,400	1,700
5000	2,100	2,650
7000	2,800	3,550
10.000	3,950	4,950
15.000	5,900	7,115
20.000	7,100	9,150

Cálculo de los transformadores de salida

Se comienza por calcular la relación de transformación n:

$$n = 1{,}1 \sqrt{\frac{Z_2}{R_a}}$$

donde Z_2 = impedancia en la bobina móvil del parlante, en ohms.
R_a = impedancia óptima de carga de la válvula de salida, en ohms.

Se calcula luego el coeficiente de autoinducción, L_1, del primario:

$$L_1 = \frac{R_1\,\alpha}{400\,(1 + \alpha)},$$

donde R_1 = resistencia de placa de la válvula, en ohms.
α = coeficiente de carga (2 a 3 para tríodos y de 0,08 a 0,1 para pentodos).

Se calcula luego la sección del núcleo del transformador. La fórmula que se da a continuación es válida solamente para transformadores sin componente de corriente continua.

$$S\ (\text{en cm}^2) = 6 \sqrt{\frac{P}{L_1}},$$

donde P = máxima salida de potencia de la válvula.

El número de espiras del primario (n_1) se determina mediante la siguiente fórmula:

$$n_1 = 426\sqrt{\frac{L_1 l}{S}},$$ donde l = longitud de la línea magnética media, en cm.

El diámetro del conductor para el bobinado primario se determina directamente en mm, por medio de la siguiente fórmula:

$$d_1 = 1{,}12\sqrt{\frac{P}{E_a}},$$ donde P = salida máxima, en watts. E_a = tensión anódica, en volts.

El número de espiras en el secundario es:

$$n_2 = n . n_1$$

y el diámetro del mismo:

$$d_2 = \frac{d_1}{\sqrt{n}}.$$

TRANSFORMADORES DE RADIOFRECUENCIA

Caso general (Fig. 24)

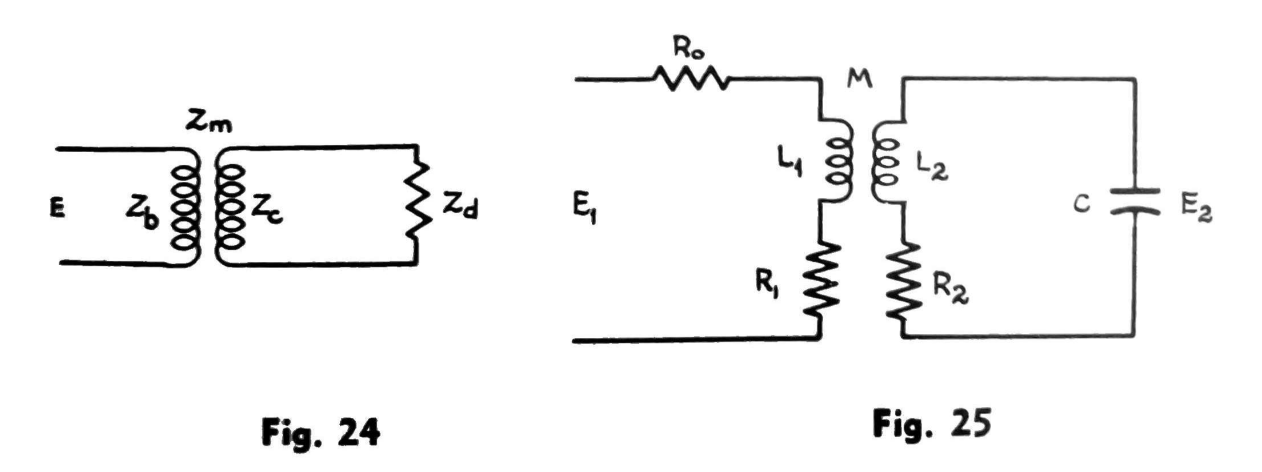


Fig. 24 **Fig. 25**

$Z_b = R_1 + jX_1$ $Z_c = R_s + jX_s$ $Z_d = R + jX$

La impedancia equivalente, vista desde la fuente E, es:

$$\mathbf{Z = R_e + jX_e}$$

Los valores de R_e y X_e se determinan por medio de las siguientes fórmulas:

$$R_e = R_1 + \frac{X^2_m (R + R_2)}{(R + R_2)^2 + (X + X_2)^2} \qquad X_e = X_1 - \frac{X^2_m (X + X_2)}{(R + R_2)^2 + (X + X_2)^2}$$

Las corrientes en los bobinados primario y secundario son:

$$I_1 = E/Z; \qquad I_2 = \frac{Z_m I_1}{Z_c + Z_d}$$

Transformador sintonizado (Fig. 25)

Tiene que cumplirse que:

$$L_2 C = \frac{1}{(2\pi f)^2}$$

Se supone que R_o es grande comparada con R_1 y X_1. La impedancia vista desde la fuente E_1, es:

$$Z \cong R_0 + \frac{(2\pi f M)^2}{R_2}$$

Las corrientes en los bobinados primario y secundario son:

$$I_1 = E_1/Z \qquad I_2 = \frac{2\pi f M I_1}{R_2}$$

La relación de tensiones es:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{(2\pi f)^2 M L_2}{R_2 R_0 + (2\pi f M)^2}$$

El acoplamiento óptimo es: $(2\pi f M)^2 = R_0 R_2$

La amplificación máxima que se obtiene con el acoplamiento óptimo vale:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{2\pi f L_2}{2\sqrt{R_2 R_0}}$$

Transformador doble sintonizado (Fig. 26)

Además de las fórmulas indicadas en el subtítulo "Caso general" se aplican las siguientes:

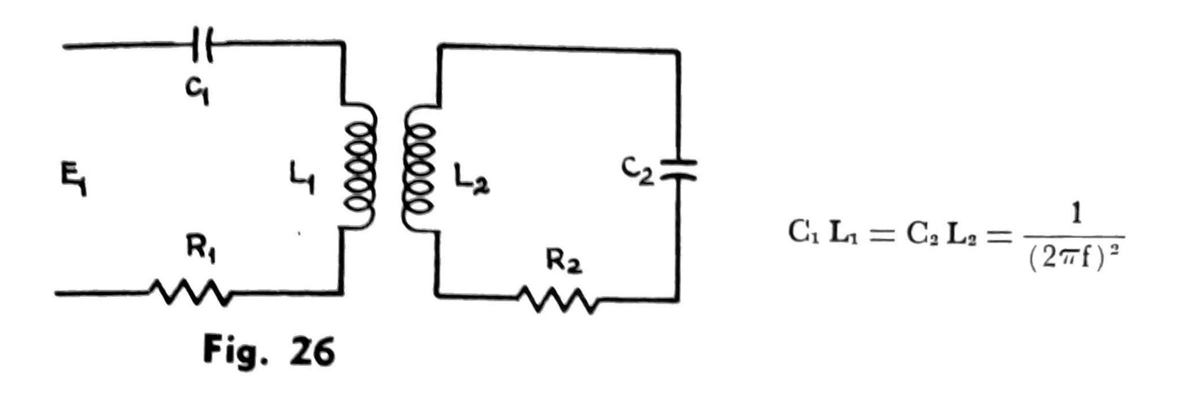


Fig. 26

$$C_1 L_1 = C_2 L_2 = \frac{1}{(2\pi f)^2}$$

El acoplamiento óptimo vale: $$M = \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{2\pi f}$$

Las máximas tensión y corriente en el secundario son determinadas por las siguientes fórmulas:

$$I_2 = \frac{E_1}{2 \sqrt{R_1 R_2}} \qquad E_2 = E_1 \frac{X_{L2}}{2 \sqrt{R_1 R_2}}$$

CAPÍTULO 6

CIRCUITOS RECTIFICADORES

Resumen de circuitos rectificadores

En la Tabla Nº 13 se han resumido los principales datos para el cálculo de los circuitos rectificadores, suponiendo que a continuación del rectificador hay un filtro de entrada por choke de inductancia infinita, sin pérdidas en el transformador y rectificador.

TABLA Nº 13 - CIRCUITOS RECTIFICADORES

	Tipo de rectificador				
	Monofás. *½ onda* Fig. 27a	*Monofás.* *onda completa* Fig.27b	*Monofás.* *puente* Fig. 27c	*Trifás.* *½ onda* Fig. 27d	*Trifás.* *onda completa* Fig. 27e
Tensión eficaz del transformador, por rama (Ea)	2,22 E	1,11 E	0,855 E	0,855 E	0,428 E
Máxima tensión inversa	3,14 E	3,14 E	1,57 E	2,09 E	1,05 E
Frecuencia de zumbido	f	2 f	2f	3f	6f
Voltaje de ripple	1,11 E	0,667 E	0,667 E	0,25 E	0,057 E
Corriente media por díodo (CC en la carga = 1)	1	0,5	0,5	0,333	0,333
Corriente eficaz por rama del transformador y por díodo	1,42 I	0,707 I	0,707 I	0,577 I	0,816 I

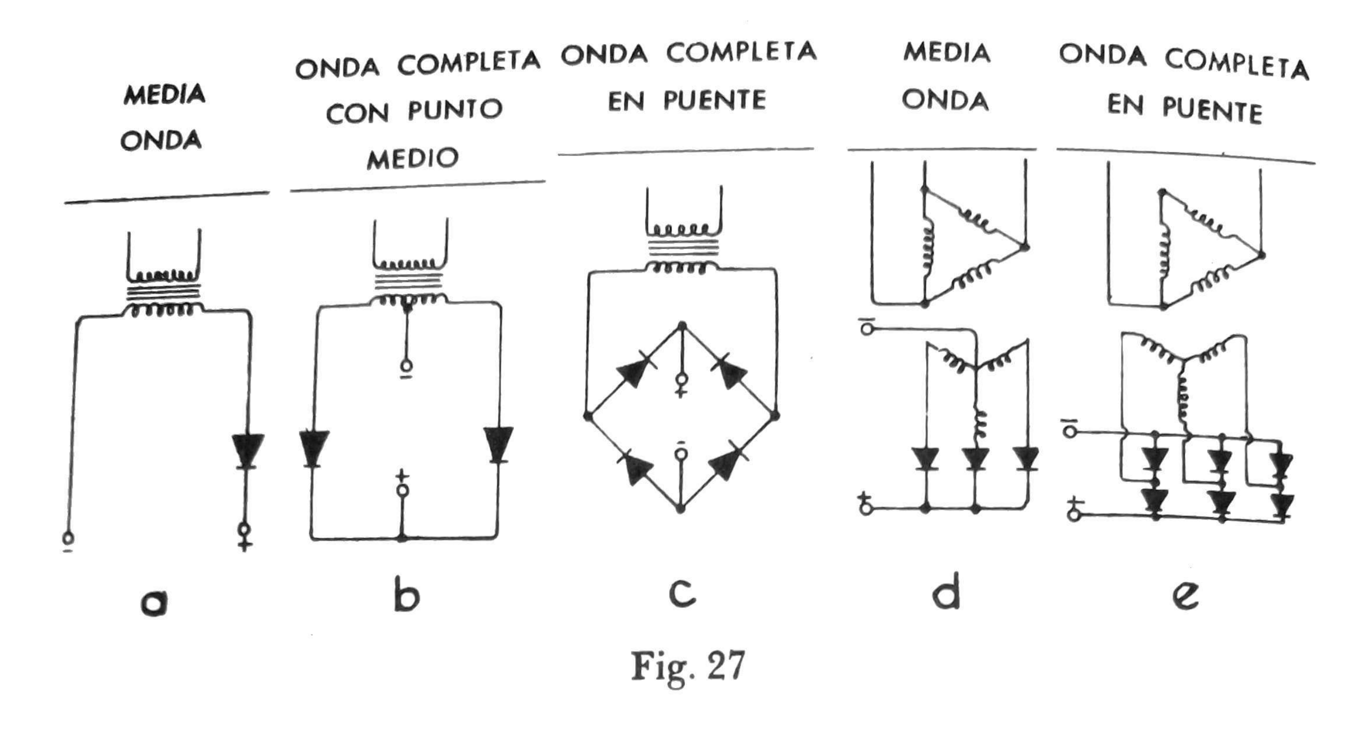
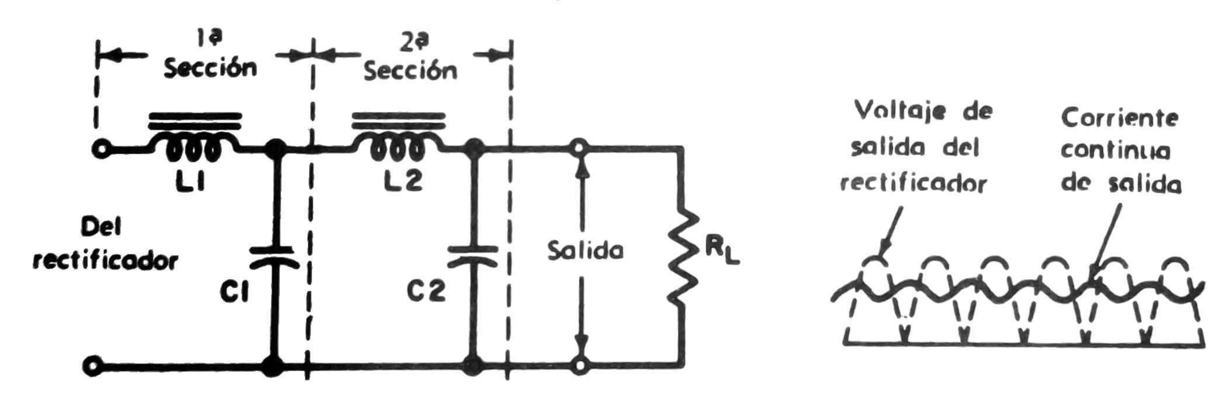


Fig. 27

Diseño de filtros con entrada por choke (Fig. 28)



Para asegurar una circulación continua de corriente a través del choke de entrada (L_1) la inductancia de entrada debe satisfacer la relación:

$$L_1 \text{ (mínimo)} = \frac{0{,}06\ R_L}{f_s}$$

En la expresión anterior, f_s es la frecuencia de la fuente (en c/s) y R_L es la resistencia total de carga. Para una fuente de 50 c/s la expresión anterior se transforma:

$$L_1 \text{ (mínima)} = \frac{E_{cc}}{1200\ I_{cc}} \text{ henrios}$$

donde, E_{cc} = voltaje de CC
I_{cc} = corriente de CC

El factor de ripple (r) para la primera sección es:

$r = \frac{E_{r1}}{E_{cc}}$ donde Er_1 = voltaje de ripple en RMS que aparece sobre el condensador C1
E_{cc} = voltaje de CC sobre C1.

Para asegurar un valor mínimo de ripple el producto L_1C_1 debe exceder cierto mínimo, dado por la relación:

$$L_1C_1 = \frac{0{,}83}{r}\left(\frac{60}{f_s}\right)^2$$

donde
f_s = frecuencia de la fuente de alimentación, en c/s.
C_1 = capacidad en microfaradios.

Para una frecuencia de 50 c/s:

$$L_1C_1 = 1{,}17/r \text{ o } r = \frac{1{,}17}{L_1C_1}$$

El valor de C_1, para una frecuencia de 50 c/s, está determinado por:

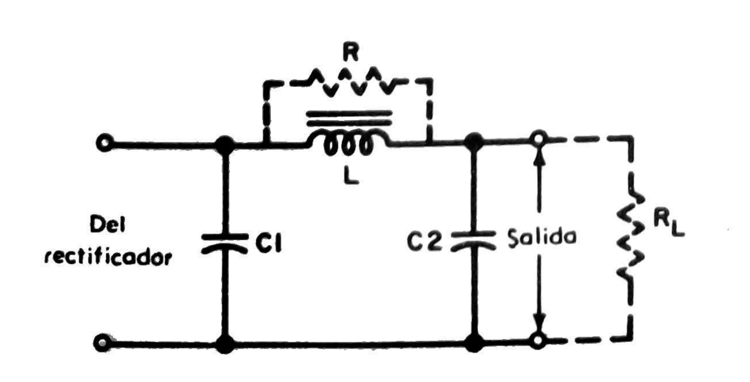
$$C_1 = \frac{1{,}17}{r\,L_1}\ (\mu f)$$

Cuando se agrega una segunda sección del filtro formada por L_2 y C_2, el voltaje de ripple se reduce a un valor E_{r2} a la salida del filtro. El factor de reducción del filtro está dado aproximadamente por:

$$\frac{E_{r2}}{E_{r1}} \approx \frac{1}{(2\pi f_r)^2 L_2 C_2}$$

donde f_r = frecuencia de ripple
L_2 = inductancia en henrios
C_2 = capacidad en faradios.

Diseño de filtros con entrada a condensador (Fig. 29)



La salida de CC del rectificador a través de un filtro de entrada a condensador depende del valor de éste, de la resistencia de carga y de la resistencia de entrada (de la fuente) del rectificador y del transformador, datos que se suministran generalmente en los manuales de válvulas. La resistencia de carga, $R_L = E_{cc}/I_{cc}$, tiene el mismo valor y significado que en el caso anterior. La resistencia de la fuente, o de entrada, es igual a la resistencia de una mitad del bobinado secundario del transformador, más la resistencia equivalente a la caída IR de la válvula.

El factor de ripple debido al condensador de entrada del filtro (C_1) es

$$r = \frac{E_{r1}}{E_{cc}} = \frac{0{,}00188}{C_1\ R_L} \left(\frac{120}{f_r}\right)$$

donde E_{r1} es el voltaje de ripple (RMS) que aparece sobre C_1 y E_{cc} es el voltaje de CC sobre C_1.

Para un rectificador de onda completa trabajando con fuente de alimentación de 50 c/s el factor de ripple es:

$$r = \frac{2256}{C_1\ R_L} \approx \frac{2256\ I_{cc}}{C_1\ E_{cc}}$$

donde C_1 es el condensador de entrada en microfaradios.

Inversamente, para obtener determinado factor o porcentaje de ripple el valor del condensador de entrada será:

$$C = \frac{2256}{r\ R_L} \approx \frac{2256\ I_{cc}}{r\ E_{cc}}\ (\mu f)$$

Después de elegido el condensador de entrada debe probarse de no exceder la máxima relación de corriente de pico del rectificador (indicada en los manuales de válvulas). La relación corriente de pico-corriente de carga es aproximadamente un 10 % mayor para una entrada de capacidad infinita. Debe elegirse la válvula o rectificador metálico que entregue la corriente de carga requerida sin exceder la corriente de pico, para la capacidad de entrada seleccionada.

Si la corriente de carga es pequeña un solo condensador de entrada (C_1) será suficiente para asegurar el factor de ripple necesario Si se necesita un filtrado adicional puede agregarse una inductancia L en serie y un condensador de salida C_2, o una resistencia R y un condensador C_2. El factor de reducción del ripple para una sección adicional L-C_2 es, como se estableció previamente:

$$\frac{E_{r2}}{E_{r1}} \approx \frac{1}{(2\pi f_r)^2 L_2 C_2}$$

donde
L = inductancia en henrios
C_2 = capacidad en faradios

Para una frecuencia de ripple de 100 c/s y con C_2 expresado en microfaradios:

$$\frac{E_{r2}}{E_{r1}} \approx \frac{2{,}52}{L_2 C_2}$$

El factor de ripple para una sección adicional R-C_2 es:

$$\frac{E_{r2}}{E_{r1}} \approx \frac{1}{2\pi f_r \; C_2 \; R}$$

donde
f_r = frecuencia de ripple
E_{r2} = voltaje de ripple (RMS) sobre C_2
C_2 = capacidad en faradios
R = resistencia, en ohms

Si la frecuencia de ripple es de 100 c/s y C_2 se expresa en microfaradios:

$$\frac{E_{r2}}{E_{r1}} \approx \frac{1590}{C_2 \; R}$$

CAPÍTULO 7

GANANCIAS Y PÉRDIDAS

Niveles de potencia

La unidad práctica de nivel de potencia, tensión o corriente, en los sistemas de comunicaciones, es el decibel (1/10 de bel). Se lo puede definir en diversas formas:

a) como la diferencia de nivel (ganancia o pérdida) de potencia o tensión entre dos puntos de un circuito;

b) como una variación en el nivel (aumento o disminución);

c) como un nivel definido con referencia a otro arbitrario, llamado nivel cero.

Nivel cero de potencia (sistema europeo) = 1 mW

Nivel cero de potencia (sistema americano) = 1 mW

Nivel cero de sonido = 0,0007 dinas/cm² a 400 c/s

Nivel cero de sonido en audiofrecuencia = 1 mW en 600 ohms

La diferencia o variación de nivel se expresa por una cantidad de decibeles en más o en menos, o bien en decibeles de ganancia o pérdida.

Un nivel particular se expresa por una cantidad de decibeles por encima o por debajo del nivel cero.

Ganancia o pérdida de potencia

La ganancia o pérdida de potencia está dada por la expresión:

Para la ganancia $N = 10 \log_{10} (P_1/P_2)$ (en db)

Para la pérdida $-N = 10 \log_{10} (P_1/P_2)$ (en db)

Si P1 es la potencia de entrada o nivel de referencia y P2 la potencia de salida, la relación de potencias es:

$$P_2/P_1 = \text{antilog } (N/10)$$

La ganancia total de un sistema es la suma de las ganancias individuales de cada unidad componente, expresada en decibeles, considerando las ganancias como + y las pérdidas como –.

Si P2/P1 < 1 (pérdidas), se simplifican los cálculos:

$$N = -10 \log_{10} (P_1/P_2)$$

Ganancia o pérdida de tensión o corriente

La ganancia o pérdida de tensión o corriente, en decibeles, está dada por la expresión:

$$N = 20 \log_{10} (E_2/E_1) = 20 \log_{10} (I_2/I_1)$$

Recíprocamente, la relación de tensiones es:

$$E_2/E_1 = \text{antilog}_{10} (N/20)$$

Variación de impedancia

Si las impedancias de entrada y salida no son iguales, la ganancia o pérdida de tensión se debe referir a las impedancias.

$$\text{db} = 20 \log \frac{E_2\sqrt{Z_1}}{E_1\sqrt{Z_2}}$$

$$\text{db} = 20 \log \frac{I_2\sqrt{Z_2}}{I_1\sqrt{Z_1}}$$

La expresión anterior es válida siempre que Z1 y Z2 tengan el mismo ángulo de fase.

Tabla de decibeles

A continuación se incluye una tabla de decibeles para la mayoría de los valores comunes de relaciones de corriente, voltaje y potencia, con sus respectivos valores en decibeles. Si algún valor determinado no se encuentra en la tabla y se desea obtener la relación correspondiente, se descomponen en dos factores, uno de los cuales es 100 ó 1000. Por ejemplo: Si E1/E2 = 1,585, esta relación se puede descomponer en 1,585x1000. Para E1/E2 = 1,585, corresponde 4 db. Para E1/E2 = 1000 corresponde 40 db. La suma de ambos es 44 db. Debe tenerse en cuenta que las relaciones están tomadas sobre resistencias iguales. En el caso en que las resistencias no son iguales la diferencia de niveles eléctricos se calcula mediante la siguiente expresión: db = lectura de la tabla + $10g_{10}$ R2/R1, siendo R2 la resistencia sobre cuyos extremos se mide E2.

TABLA Nº 14 - TABLA DE DECIBELES

db	Relación de voltaje o cte. Ganancia	Relación de voltaje o cte. Pérdida	Relación de potencia Ganancia	Relación de potencia Pérdida
0	1.000	1.0000	1.000	1.0000
.1	1.012	.9886	1.023	.9772
.2	1.023	.9772	1.047	.9550
.3	1.035	.9661	1.072	.9333
.4	1.047	.9550	1.096	.9120
.5	1.059	.9441	1.122	.8913
.6	1.072	.9333	1.148	.8710
.7	1.084	.9226	1.175	.8511
.8	1.096	.9120	1.202	.8318
.9	1.109	.9016	1.230	.8128
1.0	1.122	.8913	1.259	.7943
1.1	1.135	.8810	1.288	.7762
1.2	1.148	.8710	1.318	.7586
1.3	1.161	.8610	1.349	.7413
1.4	1.175	.8511	1.380	.7244
1.5	1.189	.8414	1.413	.7079
1.6	1.202	.8318	1.445	.6918
1.7	1.216	.8222	1.479	.6761
1.8	1.230	.8128	1.514	.6607
1.9	1.245	.8035	1.549	.6457
2.0	1.259	.7943	1.585	.6310
2.1	1.274	.7852	1.622	.6166
2.2	1.288	.7762	1.660	.6026
2.3	1.303	.7674	1.698	.5888
2.4	1.318	.7586	1.738	.5754
2.5	1.334	.7499	1.778	.5623
2.6	1.349	.7413	1.820	.5495
2.7	1.365	.7328	1.862	.5370
2.8	1.380	.7244	1.905	.5248
2.9	1.396	.7161	1.950	.5129
3.0	1.413	.7079	1.995	.5012
3.1	1.429	.6998	2.042	.4898
3.2	1.445	.6918	2.089	.4786
3.3	1.462	.6839	2.138	.4677
3.4	1.479	.6761	2.188	.4571
3.5	1.496	.6683	2.239	.4467
3.6	1.514	.6607	2.291	.4365
3.7	1.531	.6531	2.344	.4266
3.8	1.549	.6457	2.399	.4169
3.9	1.567	.6383	2.455	.4074
4.0	1.585	.6310	2.512	.3981
4.1	1.603	.6237	2.570	.3890
4.2	1.622	.6166	2.630	.3802
4.3	1.641	.6095	2.692	.3715
4.4	1.660	.6026	2.754	.3631
4.5	1.679	.5957	2.818	.3548
4.6	1.698	.5888	2.884	.3467
4.7	1.718	.5821	2.951	.3388
4.8	1.738	.5754	3.020	.3311
4.9	1.758	.5689	3.090	.3236
5.0	1.778	.5623	3.162	.3162

TABLA Nº 14 - TABLA DE DECIBELES

	Relación de voltaje o cte.		Relación de potencia	
db	Ganancia	Pérdida	Ganancia	Pérdida
5.1	1.799	.5559	3.236	.3090
5.2	1.820	.5495	3.311	.3020
5.3	1.841	.5433	3.388	.2951
5.4	1.862	.5370	3.467	.2884
5.5	1.884	.5309	3.548	.2818
5.6	1.905	.5248	3.631	.2754
5.7	1.928	.5188	3.715	.2692
5.8	1.950	.5129	3.802	.2630
5.9	1.972	.5070	3.890	.2570
6.0	1.995	.5012	3.981	.2512
6.1	2.018	.4955	4.074	.2455
6.2	2.042	.4898	4.169	.2399
6.3	2.065	.4842	4.266	.2344
6.4	2.089	.4786	4.365	.2291
6.5	2.113	.4732	4.467	.2239
6.6	2.138	.4677	4.571	.2188
6.7	2.163	.4624	4.677	.2138
6.8	2.188	.4571	4.786	.2089
6.9	2.213	.4519	4.898	.2042
7.0	2.239	.4467	5.012	.1995
7.1	2.265	.4416	5.129	.1950
7.2	2.291	.4365	5.248	.1905
7.3	2.317	.4315	5.370	.1862
7.4	2.344	.4266	5.495	.1820
7.5	2.371	.4217	5.623	.1778
7.6	2.399	.4169	5.754	.1738
7.7	2.427	.4121	5.888	.1698
7.8	2.455	.4074	6.026	.1660
7.9	2.483	.4027	6.166	.1622
8.0	2.512	.3981	6.310	.1585
8.1	2.541	.3936	6.457	.1549
8.2	2.570	.3890	6.607	.1514
8.3	2.600	.3846	6.761	.1479
8.4	2.630	.3802	6.918	.1445
8.5	2.661	.3758	7.079	.1413
8.6	2.692	.3715	7.244	.1380
8.7	2.723	.3673	7.413	.1349
8.8	2.754	.3631	7.586	.1318
8.9	2.786	.3589	7.762	.1288
9.0	2.818	.3548	7.943	.1259
9.1	2.851	.3508	8.128	.1230
9.2	2.884	.3467	8.318	.1202
9.3	2.917	.3428	8.511	.1175
9.4	2.951	.3388	8.710	.1148
9.5	2.985	.3350	8.913	.1122
9.6	3.020	.3311	9.120	.1096
9.7	3.055	.3273	9.333	.1072
9.8	3.090	.3236	9.550	.1047
9.9	3.126	.3199	9.772	.1023
10.0	3.162	.3162	10.000	.1000
10.1	3.199	.3126	10.23	.09772

TABLA Nº 14 - TABLA DE DECIBELES

db	Relación de voltaje o cte. Ganancia	Pérdida	Relación de potencia Ganancia	Pérdida
10.2	3.236	.3090	10.47	.09550
10.3	3.273	.3055	10.72	.09333
10.4	3.311	.3020	10.96	.09120
10.5	3.350	.2985	11.22	.08913
10.6	3.388	.2951	11.48	.08710
10.7	3.428	.2917	11.75	.08511
10.8	3.467	.2884	12.02	.08318
10.9	3.508	.2851	12.30	.08128
11.0	3.548	.2818	12.59	.07943
11.1	3.589	.2786	12.88	.07762
11.2	3.631	.2754	13.18	.07586
11.3	3.673	.2723	13.49	.07413
11.4	3.715	.2692	13.80	.07244
11.5	3.758	.2661	14.13	.07079
11.6	3.802	.2630	14.45	.06918
11.7	3.846	.2600	14.79	.06761
11.8	3.890	.2570	15.14	.06607
11.9	3.936	.2541	15.49	.06457
12.0	3.981	.2512	15.85	.06310
12.1	4.027	.2483	16.22	.06166
12.2	4.074	.2455	16.60	.06026
12.3	4.121	.2427	16.98	.05888
12.4	4.169	.2399	17.38	.05754
12.5	4.217	.2371	17.78	.05623
12.6	4.266	.2344	18.20	.05495
12.7	4.315	.2317	18.62	.05370
12.8	4.365	.2291	19.05	.05248
12.9	4.416	.2265	19.50	.05129
13.0	4.467	.2239	19.95	.05012
13.1	4.519	.2213	20.42	.04898
13.2	4.571	.2188	20.89	.04786
13.3	4.624	.2163	21.38	.04677
13.4	4.677	.2138	21.88	.04571
13.5	4.732	.2113	22.39	.04467
13.6	4.786	.2089	22.91	.04365
13.7	4.842	.2065	23.44	.04266
13.8	4.898	.2042	23.99	.04169
13.9	4.955	.2018	24.55	.04074
14.0	5.012	.1995	25.12	.03981
14.1	5.070	.1972	25.70	.03890
14.2	5.129	.1950	26.30	.03802
14.3	5.188	.1928	26.92	.03715
14.4	5.248	.1905	27.54	.03631
14.5	5.309	.1884	28.18	.03548
14.6	5.370	.1862	28.84	.03467
14.7	5.433	.1841	29.51	.03388
14.8	5.495	.1820	30.20	.03311
14.9	5.559	.1799	30.90	.03236
15.0	5.623	.1778	31.62	.03162

CAPÍTULO 8

VÁLVULAS Y CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

Nomenclatura

A continuación se indican las principales abreviaturas utilizadas en circuitos electrónicos (ver Fig. 30).

E_c	voltaje de grilla en reposo (sin señal).
e_g	valor instantáneo de la componente de CA del voltaje de grilla.
e_c	$E_c + e_g =$ valor instantáneo del voltaje total de grilla.
E_g	valor efectivo o máximo de la componente de CA del voltaje de grilla.
E_{cc}	voltaje de la fuente de grilla (bias).
I_c	valor de reposo (sin señal) de la corriente de grilla.
i_g	valor instantáneo de la componente de CA de corriente de grilla.
$i_c = I_c + i_g$	corriente total de grilla, instantánea.
E_b	voltaje de placa en reposo (sin señal).
e_p	valor instantáneo de la componente de CA de voltaje de placa.
e_b	$E_b + e_p =$ voltaje total instantáneo de placa.
E_p	valor efectivo de la componente de CA del voltaje de placa.
E_{bb}	voltaje de la fuente de placa.
I_b	corriente de reposo de placa (sin señal).
i_p	valor instantáneo de la componente de CA de corriente de placa.
$i_b = I_b + i_p$	corriente de placa total instantánea.
I_p	valor efectivo de la componente de CA de corriente de placa.
I_f	corriente de filamento o calefactor.
C_{gp}	capacidad directa grilla-placa.
C_{gk}	capacidad directa grilla-cátodo.
C_{pk}	capacidad directa placa-cátodo.
R_L	resistencia externa de carga.
r_p	resistencia de placa a CA (variable).
R_p	resistencia de placa a CC.
R_k	resistencia de bias de cátodo.

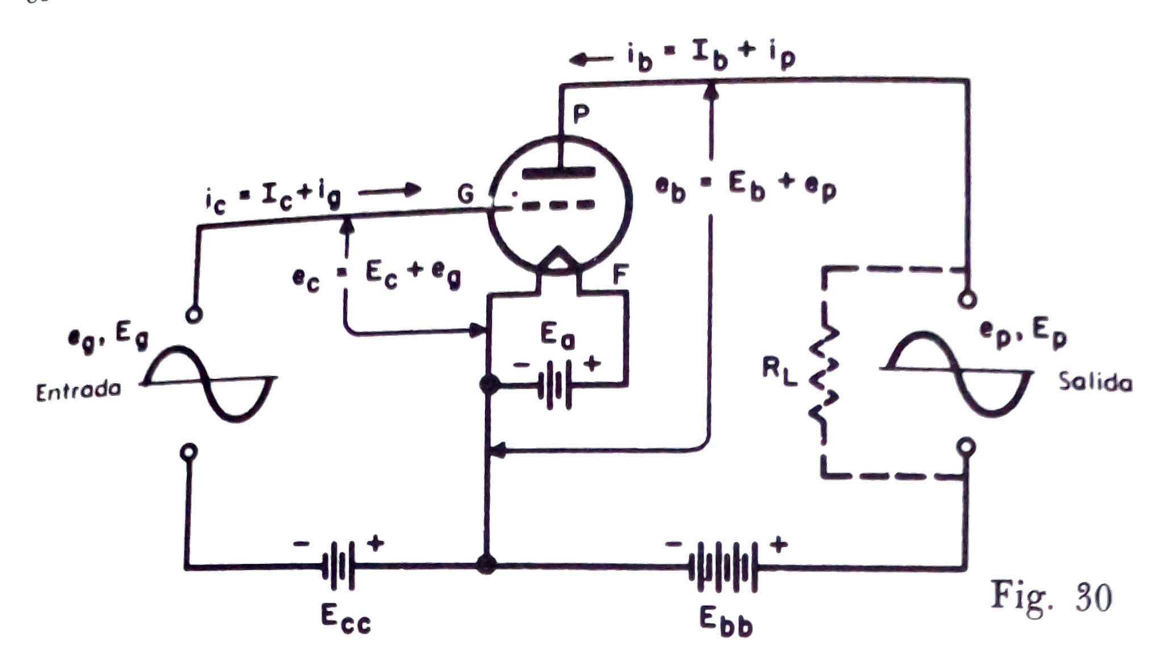


Fig. 30

Coeficientes de las válvulas

a) Factor de amplificación (μ). Es la relación entre una variación del voltaje de placa y una variación en el voltaje de grilla, manteniendo constante la corriente de placa y el voltaje de los otros electrodos.

$$\mu = \frac{\delta e_b}{\delta e_c} \text{ (} I_b \text{ constante)}$$

$$\textbf{factor de amplificación } \mu = \frac{e_{b2} - e_{b1}}{e_{c2} - e_{c1}} \text{ (} I_b \text{ constante)}$$

b) Resistencia de placa a CA (r_p). Es la resistencia ofrecida por el circuito placa-cátodo a un pequeño incremento del voltaje de placa.

$$r_p = \frac{e_{b2} - e_{b1}}{i_{b2} - i_{b1}} = \frac{\delta e_b}{\delta i_b} \text{ (} E_c \text{ constante)}$$

c) Resistencia de placa a CC (R_p). Relación del voltaje total de placa (E_b) y de la corriente total (I_b), siendo constantes los voltajes **de los otros electrodos:**

$$R_p = \frac{E_b}{I_b} \text{ (ohms)}$$

d) **Transconductancia** (g_m). Relación entre una pequeña variación entre la corriente de placa respecto de una pequeña variación del voltaje de grilla, manteniendo constantes los voltajes de los otros electrodos.

$$g_m = \frac{i_{b2} - i_{b1}}{e_{c2} - e_{c1}} = \frac{\mu}{r_p}$$

La transconductancia se expresa en mhos (ohms al revés) cuando i_b es en amperes y e_c en volts. Como la transconductancia es siempre mucho menor que 1, se expresa habitualmente en micromhos (millonésimas de mhos):

$$1 \text{ mho} = 10^6 \mu\text{mho}$$
$$1 \mu\text{mho} = 10^{-6} \text{ mho}$$

Relaciones entre los coeficientes de las válvulas

Los tres coeficientes principales de las válvulas amplificadoras están relacionados a través de las siguientes expresiones:

$$\mu = g_m r_p \quad \text{por tanto,} \quad r_p = \frac{\mu}{g_m}$$

Clasificación de los amplificadores

En la Tabla Nº 15 se ha resumido la clasificación básica en que se agrupan los circuitos amplificadores.

TABLA Nº 15 - CLASIFICACIÓN DE LOS AMPLIFICADORES

Clase	*Polarización de grilla*	*Zona barrida por la señal*	*Cte. de placa*	*Característ.*
A_1	Punto central de la característica.	En la porción rectilínea de la característica.	Durante todo el ciclo.	Salida sin distorsión. Gran amplif. Bajo rendimiento (25 %).
A_2	Por encima del codo central.	Dentro del codo superior.	»	Menor amplificación. Mayor rendim. que el A1.
AB_1	Debajo del punto central de la característica.	Dentro del codo inferior.	Cortes durante pequeños trozos del semiciclo negativo.	En push-pull salida sin distorsión. Mayor rendim. que A2.
AB_2	Punto central de la característica.	Dentro del codo sup.	»	Poca distorsión en push-pull. Mayor rend. que AB_1.
B_1	Cerca del codo inferior.	Se extiende al otro lado del codo inferior.	Cortes durante la mayor parte del semiciclo negativo.	Poca distorsión en push-pull. Rend. máx. 78,5 %.
B_2	»	Se extiende dentro de los codos inf. y sup.	Cortes durante la mayor parte de los ciclos negativo y positivo.	Mayor rendimiento que el B_1. Mayor distorsión.
C	Al otro lado del codo infer. de la característica.	A uno y otro lado de ambos codos.	Corte de todo el semiciclo negativo y parte del positivo.	Mucha distorsión. Máximo rendim. (80 % máx.).

Polarización de grilla

Para los distintos tipos de amplificadores la polarización de la grilla control se determina por medio de las siguientes expresiones:

Amplificador clase A: $E_g = -E_a/2\mu$

Amplificador clase B: $E_g = -E_a/\mu$

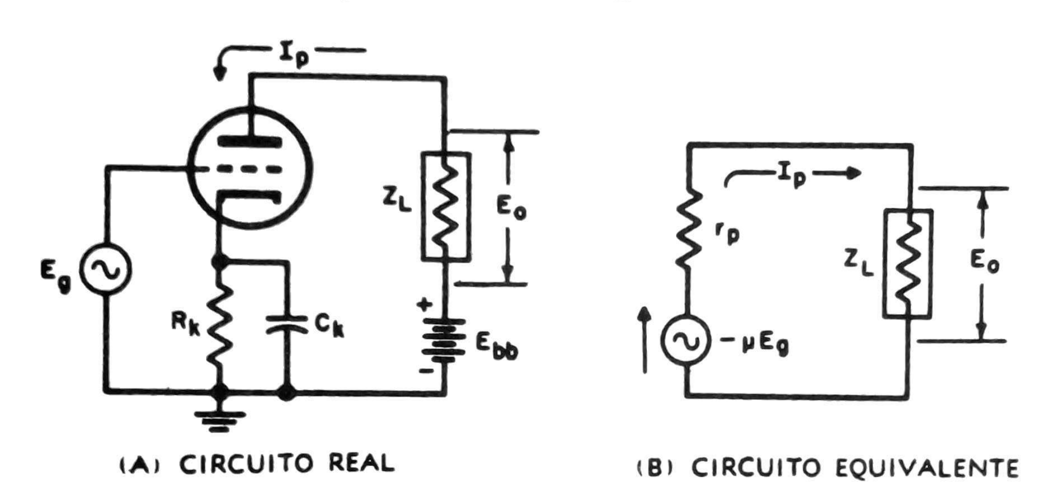
Tensión de autopolarización: $Ec = -I_b R_k$.

Corriente de placa

La componente de CA de la corriente de placa es:

$$i_a = \frac{\mu e_g}{R_a + Z_L}$$

Amplificador de voltaje, clase A (Fig. 31)



(A) CIRCUITO REAL (B) CIRCUITO EQUIVALENTE

$$\text{corriente } I_p = \frac{-\mu E_g}{r_p + Z_L}$$

El voltaje de salida sobre la carga es:

$$E_o = I_p Z_L = \frac{-\mu E_g Z_L}{r_p + Z_L}$$

La ganancia de voltaje A es la relación del voltaje de salida (E_s) respecto del voltaje de entrada E_g.

$$A = \frac{E_o}{E_g} = \frac{-\mu Z_L}{r_p + Z_L} = -g_m \times \frac{r_p Z_L}{r_p + Z_L}$$

Si $r_p >> Z_L$:

$A \approx gm Z_L$ (válido para pentodos)

La potencia de salida sobre una resistencia de carga R_L es:

$$P_o = I_p^2 R_L = R_L \left(\frac{-\mu E_g}{r_p + R_L} \right)^2$$

La resistencia de cátodo es:

$$R_k = \frac{E_c}{I_b} \quad \text{o, en forma aproximada,} \quad R_k = \frac{R_L}{\mu}$$

Amplificadores de audio acoplados a resistencia

En la Fig. 32 se ilustra el circuito de un amplificador acoplado a resistencia. La ganancia de voltaje de un amplificador de este tipo, a frecuencias medias, es esencialmente la del amplificador básico clase A, excepto en que la resistencia de carga R_L queda en paralelo con la resistencia de escape de grilla, R_g, de la etapa siguiente. La ganancia de voltaje de la etapa cae en bajas frecuencias debido a la reactancia del condensador de acoplamiento, C_c. La ganancia de la etapa cae también en frecuencias altas debido a varias capacidades en paralelo (C_{pk}), a la capacidad distribuida del conexionado y a la capacidad de entrada de la etapa siguiente.

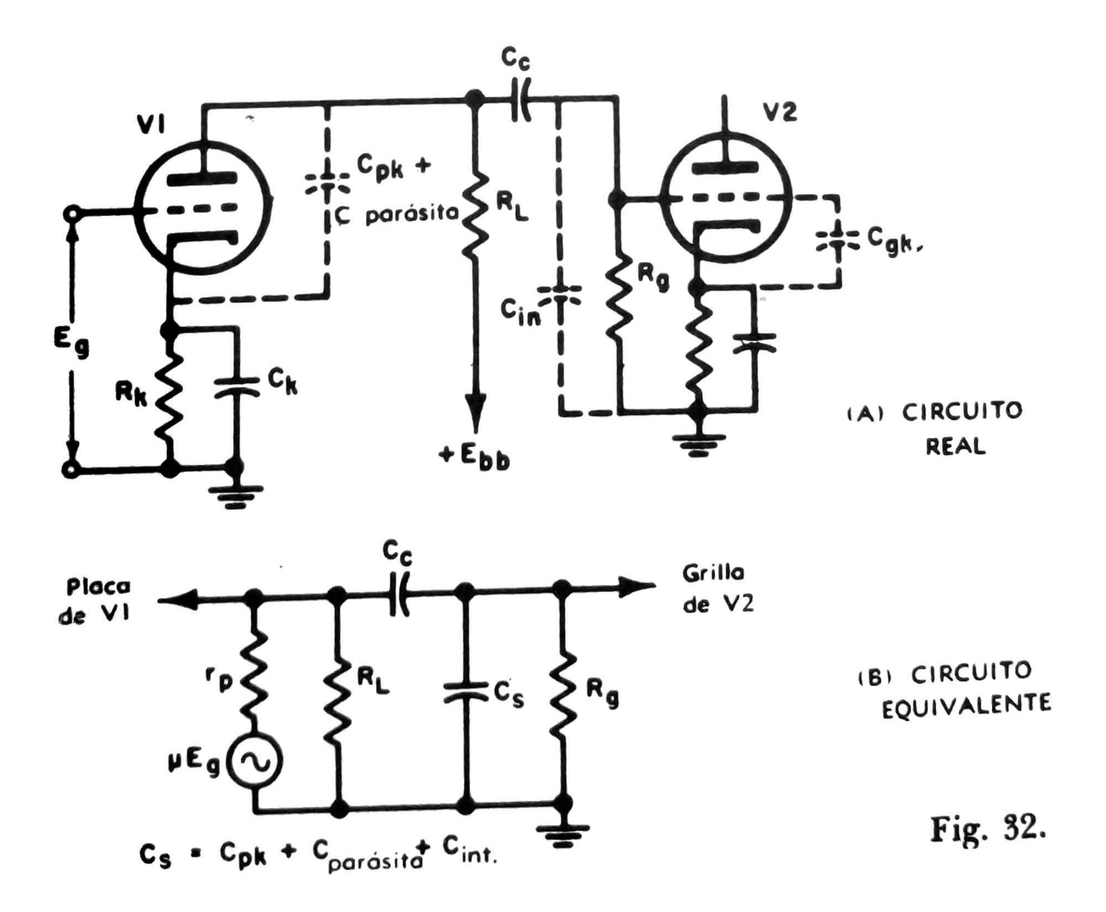


Fig. 32.

Ganancia a frecuencias medias:

$$A_m = \frac{\mu R}{R + r_p} \quad \text{donde} \quad R = \frac{R_L R_g}{R_L + R_g}$$

Ganancia en frecuencias altas:

$$A_h = \frac{A_m}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2_s r^2}}$$

donde A_m = ganancia de la etapa a frecuencias medias

$$\omega = 2\pi \times \text{frecuencia}$$

$$r = \frac{R r_p}{R + r_p} \quad y \quad R = \frac{R_L R_g}{R_L + R_g}$$

C_s = capacidad total en paralelo (farads) = C_{pk} + C_{stray} + $C_{entr.}$

C_{pk} = capacidad placa-cátodo de V_1

$C_{distr.}$ = capacidad distribuida total de conexionado de la etapa

$C_{entr.}$ = capacidad de entrada de la etapa siguiente de V_2

Para una carga resistiva la capacidad de entrada de V_2 puede calcularse por la siguiente expresión:

$C_{entrada} = C_{gk} + C_{gp} (1 + A)$

Ganancia en frecuencias bajas:

$$A_L = \frac{A_m}{\sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2 C^2_c R^2_e}}}$$

donde A_m = ganancia de la etapa a frecuencias medias

C_c = capacidad de acoplamiento

$$R_e = R_g + \frac{R_L r_p}{R_L + r_p}$$

Acoplamiento por ánodo sintonizado (ver Fig. 33)

En resonancia, la impedancia de carga, Z_L, es:

$$Z_L = \frac{L}{CR}$$

La ganancia en resonancia es:

$$A = \mu/(1 + R_a RC/L)$$

La ganancia fuera de resonancia es:

$$m = \frac{\mu L}{\sqrt{(L + R_a RC)^2 + R_a^2(\omega/\omega_0^2 - 1/\omega)^2}}$$

En las expresiones anteriores:

L = inductancia en henrios
C = capacidad en faradios
R = resistencia de RF del circuito sintonizado, ohms
ω_0 = 2π x f (en resonancia)
ω = 2π x f (fuera de resonancia)

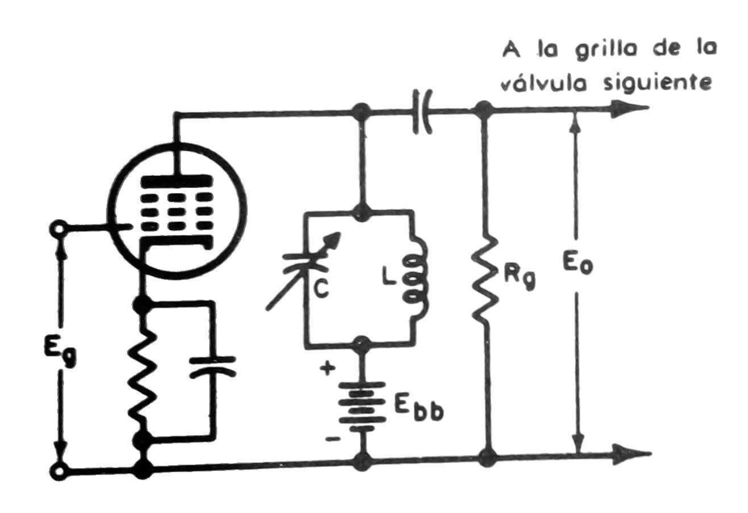


Fig. 33)

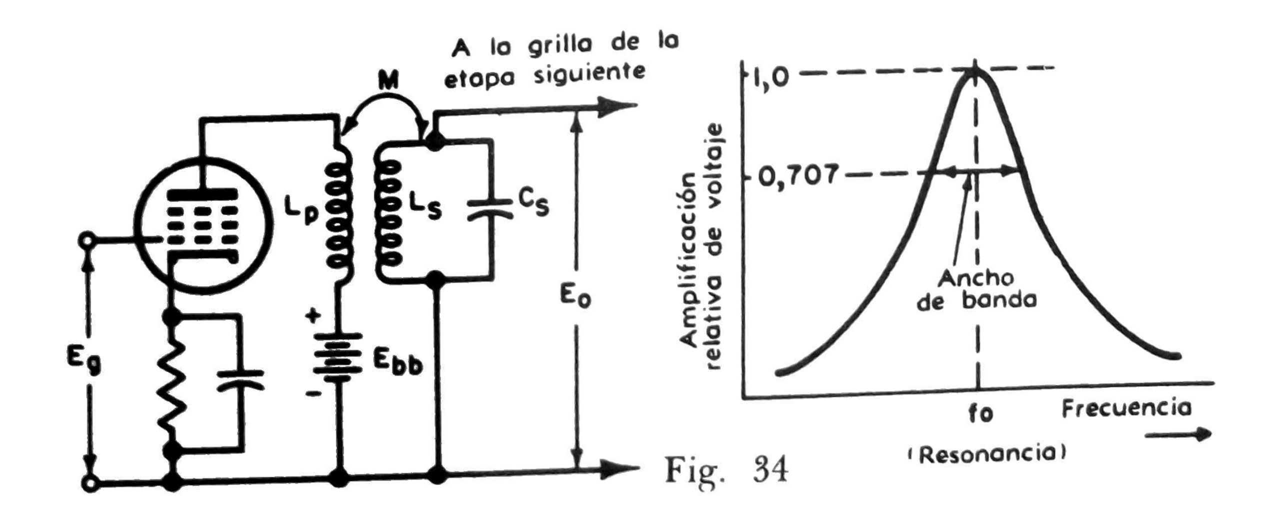


Fig. 34

Amplificadores de voltaje sintonizados

La amplificación de voltaje en el amplificador de acoplamiento directo (Fig. 34 a) es:

$$A = \frac{E_o}{E_g} = g_m Z_L$$

Z_L es la impedancia del circuito resonante paralelo LC, cuando está shuntado por la resistencia R_g de la etapa siguiente y por la resistencia de placa de CA del pentodo. Como R_g y r_p son muy elevados, Z se puede considerar como la impedancia de resonancia. La ganancia puede calcularse sobre la base del Q del circuito:

$$A \text{ (en resonancia)} = g_m \times 2\pi f_o L Q = g_m Q^2 R$$

El ancho de banda del amplificador de acoplamiento directo (Fig. 33), correspondiente a una amplificación de voltaje de 0,707 veces el valor máximo, es:

$$\text{ancho de banda (bW)} = \frac{f_o}{Q} = \frac{R}{2\pi L}$$

Para el caso del amplificador de sintonía simple acoplado a transformador (Fig. 34) debe considerarse la inductancia mutua, M. La ganancia es entonces:

$$A \text{ (en resonancia)} = g_m \times 2\pi f_o M Q_s$$

Q_s es el Q del circuito secundario y su valor es:

$$Q_s = \frac{2\pi f_o L_s}{R_s}$$

El ancho de banda es:

$$\text{ancho de banda (bw)} = \frac{f_o}{Q_s}$$

En el amplificador doble sintonizado (Fig. 35) tiene que existir un acoplamiento crítico para que se obtenga una curva de respuesta aplanada. El coeficiente de acoplamiento crítico está definido por:

$$k_c = \frac{1}{\sqrt{Q_p Q_s}}$$

donde $Q_p = \omega L_p / R_p$ y $Q_s = \omega L_s / R_s$.

Si los circuitos resonantes primario y secundario son iguales y están acoplados críticamente,

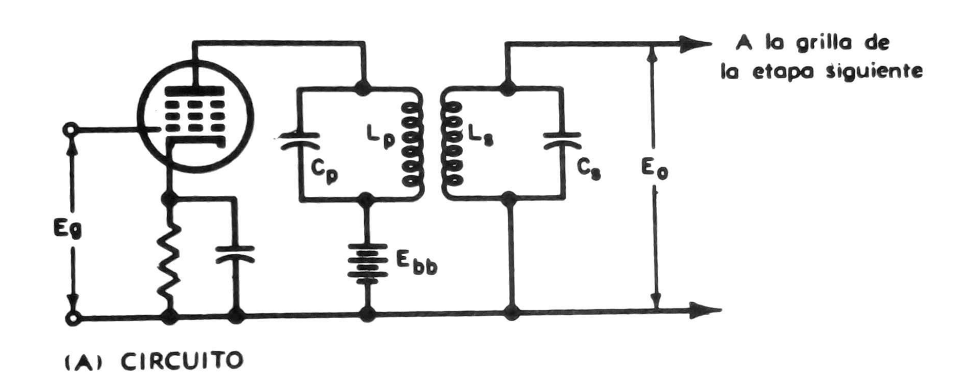
$$k_c = \frac{1}{Q}$$

La amplificación, en resonancia, es:

$$A = \frac{g_m \times 2\pi f_o L Q}{2}$$

El ancho de banda es:

$$\text{ancho de banda} = \frac{\sqrt{2}\, f_o}{Q}$$



(A) CIRCUITO

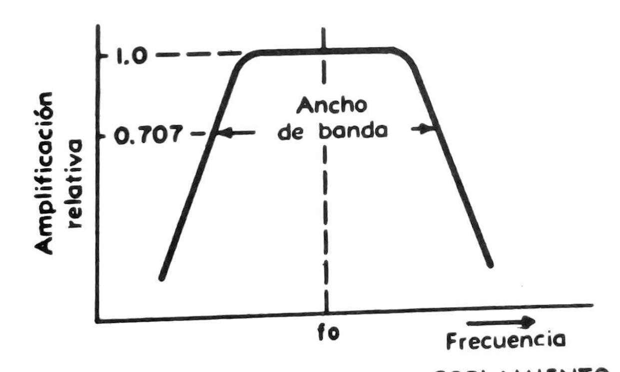


Fig. 35

(B) CURVA DE RESONANCIA PARA ACOPLAMIENTO CRITICO

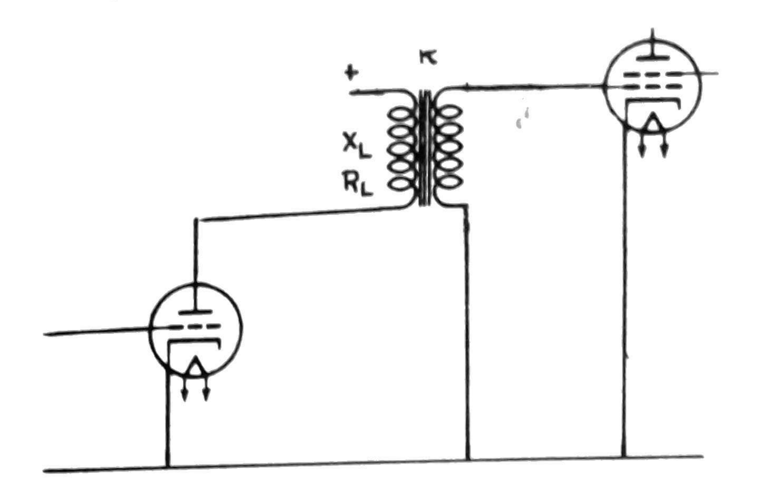
Amplificador de audio acoplado a transformador (Fig. 36)

Ganancia en audiofrecuencias medias:

$$A = \mu k R_L/(R_a + R_L)$$

Ganancia en audiofrecuencias bajas:

$$A = \mu k/\sqrt{[(R_a + R_L)/R_L{}^2 + (R_a/X_{L1})]^2}$$



(Fig. 36)

Ganancia en audiofrecuencias altas:

$$A = \mu k R_L / \sqrt{(R_a + R_L)^2 + X_{L0}^2}$$

Relación de espiras para la máxima ganancia de potencia:

$$k = \sqrt{R_a / R_L}$$

En las expresiones anteriores:

K $=$ relación de espiras entre primario y secundario

X_{L_0} $=$ reactancia de pérdida del transformador (ωL_0) en ohms.

X_{L_1} $=$ reactancia del primario, en ohms.

R_L $=$ resistencia efectiva del transformador, referida al primario, en ohms.

Seguidores catódicos (Fig. 37)

La ganancia de voltaje es siempre menor que la unidad. El voltaje de salida es:

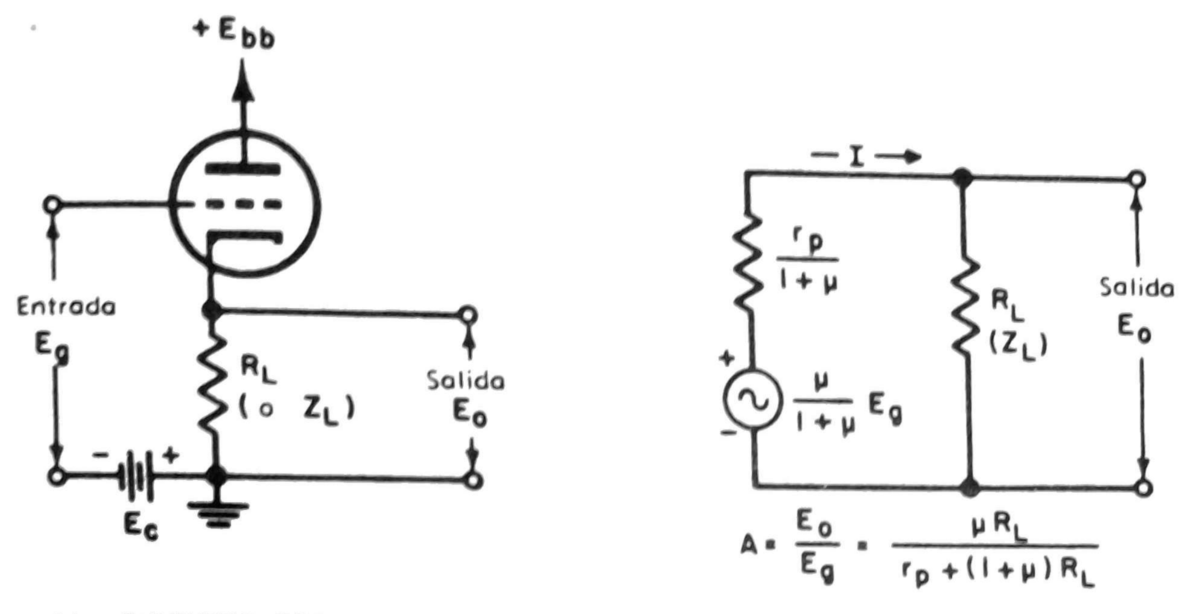
$$E_S = I\, R_L = \frac{\mu\, E_g\, R_L}{r_p + R_L\,(1 + \mu)}$$

La ganancia de voltaje es:

$$A = \frac{E_S}{E_g} = \frac{\mu\, R_L}{r_p + R_L\,(1 + \mu)}$$

En el caso de pentodos, la ganancia puede expresarse también:

$$A = \frac{g_m R_L}{g_m R_L + 1 + R_L/r_p}$$



(A) CIRCUITO REAL (Fig. 37) (B) CIRCUITO EQUIVALENTE

La capacidad de entrada es:

$$C_{entr.} = C_{gp} + \frac{C_{gk}}{1 + g_m R_L}$$

La impedancia de salida del seguidor catódico es:

$$Z_{sal.} = \frac{r_p}{1 + \mu} \approx \frac{1}{g_m}$$

La máxima potencia de salida, sin distorsión, es:

$$P_g \approx \frac{I_b^2 \ R_L}{2}$$

Amplificadores con grilla a masa

Se emplean en RF porque evitan el empleo de neutralización, puesto que la grilla conectada a masa actúa como pantalla entre la placa y el cátodo (circuito de entrada). La linealidad se consigue por medio de realimentación negativa. El circuito es particularmente apropiado en VHF.

Ganancia de tensión:

$$A = (\mu + 1) R_L / (R_a + R_L)$$

Resistencia de entrada:

$$R_1 \simeq (1/\mu R_a)(1 + R_L/R_a)$$

Resistencia de salida: $R_0 \simeq R_a$

Resistencia óptima de carga:

$$R_L = R_a \sqrt{1 + g_m R_i} \qquad \mu \gg 1$$

Amplificadores de potencia

En el amplificador de potencia la máxima salida se obtiene cuando la resistencia de carga (R_L) es igual a la resistencia de la válvula (R_a). Cuando la carga se acopla a transformador la máxima potencia se obtiene cuando

$$R_L = R_a = R_a/k^2 \quad \text{donde,} \quad k = \sqrt{R_a/R_L}$$

La relación de espiras del transformador de salida es:

$$k = \sqrt{R_0/Z_s}$$

La óptima impedancia de carga para la etapa final es:

Para tríodos .... 2Ra a 3Ra
Para pentodos ....Ra/4 a Ra/10
Para dos válvulas en push-pull 2Rs
Para dos válvulas en paralelo Rs/2

Realimentación negativa

En el amplificador con realimentación negativa (Fig. 38) la distorsión de frecuencia, amplitud y fase se reduce en un factor; $1/1 + \beta$ m.

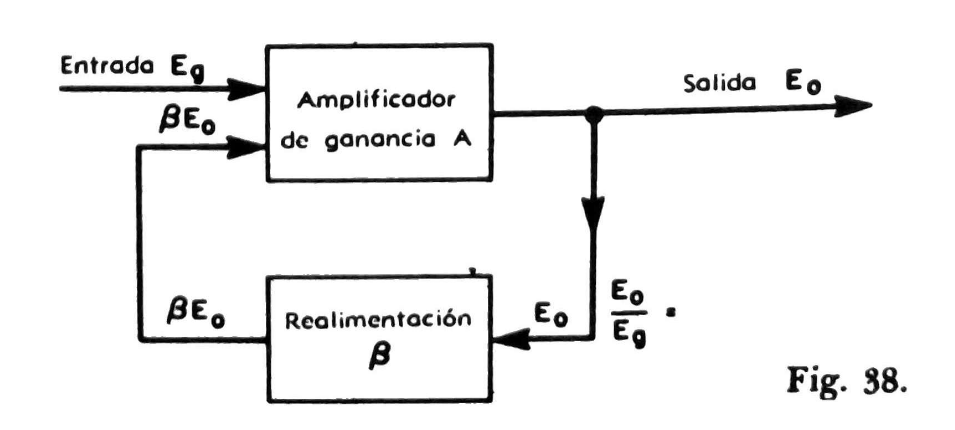


Fig. 38.

Ganancia sin realimentación: $A = e_2/e_1$

Ganancia con realimentación: $A' = m/(1 + \beta m) = 1/(1/m + \beta)$

Pérdida en db, con realimentación: $= 20 \log_{10} (1 + \beta m)$

La pérdida relativa con realimentación, a las frecuencias para las cuales las ganancias sin realimentación son m_1 y m_2, es:

$$= 20 \log_{10} [m_1(1 + \beta m_2)/m_2(1 + \beta m_1)]$$

En las expresiones anteriores β es la fracción de tensión realimentada de la salida a la entrada, con fase inversa.

CAPÍTULO 9

TRANSISTORES Y CIRCUITOS TRANSISTORIZADOS

Nomenclatura

A continuación se incluye una lista con los principales símbolos usados en la técnica de transistores, algunos de los cuales están basados en el circuito equivalente de la Fig. 39.

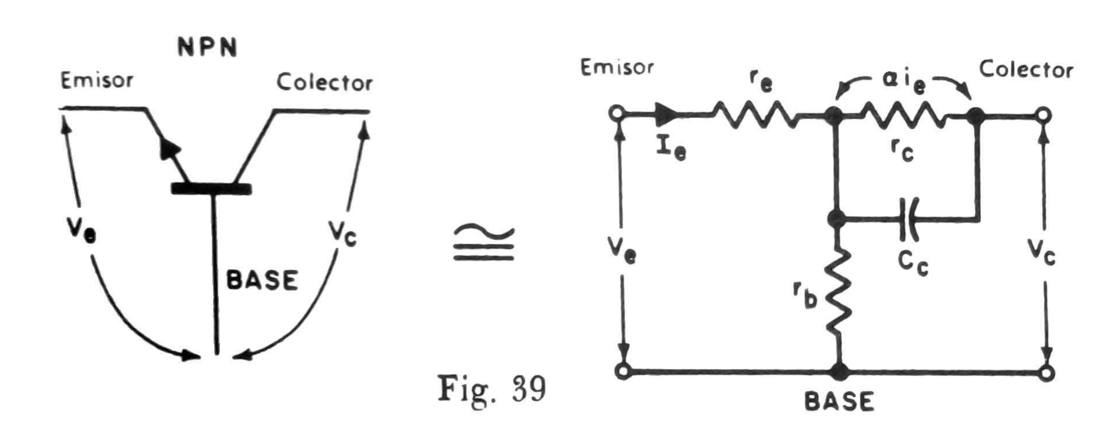


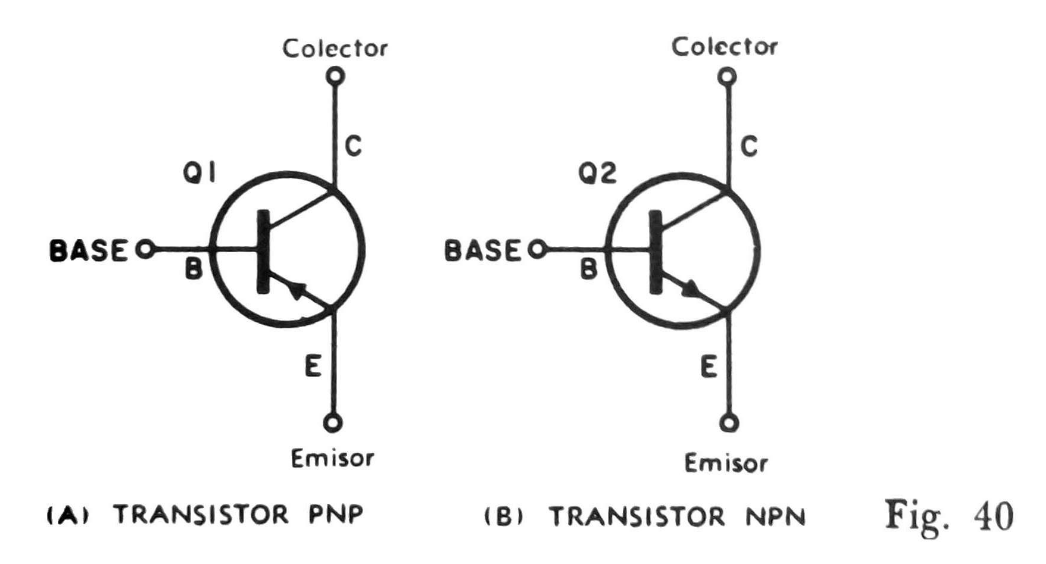
Fig. 39

V_c	**Voltaje CC de colector con respecto a la base.**
V_e	**Voltaje CC de emisor con respecto a la base.**
V_{ce}	**Voltaje CC de colector con respecto al emisor.**
e_g	**Voltaje de la señal de entrada.**
I_c	**Corriente continua de colector.**
I_e	**Corriente continua de emisor.**
I_b	**Corriente continua de base.**
i_c	**Corriente instantánea (CA) de colector.**
i_e	**Corriente instantánea (CA) de emisor.**
I_{co} i_{co}	**Corriente de corte de colector (I_c con $I_e = 0$ ó i_c con $i_e = 0$).**
r_e	**Resistencia de emisor.**
r_b	**Resistencia de base.**
r_c	**Resistencia de colector.**
R_g	**Resistencia del generador.**

R_i Resistencia de entrada.
R_o Resistencia de salida.
R_L Resistencia externa de carga.
α alfa (factor multiplic. de corriente) $= \left(\frac{\delta i_c}{\delta i_e}\right)$ V_c constante
α_o alfa a baja frecuencia
β beta $= \left(\frac{\delta i_c}{\delta i_b}\right)$ V_{ce} constante $= \alpha/(1-\alpha)$ (relac. transform. corr.)
A_I amplificación de corriente (ganancia de corriente)
A_V amplificación de voltaje (ganancia de voltaje)
C_c capacidad de colector
f_α frecuencia de corte alfa (a la cual $\alpha = \alpha_o/\sqrt{2}$)
f_β frecuencia de corte beta [a la cual $\beta = \alpha_o/\sqrt{2}\,(1-\alpha_o)$]
G ganancia de potencia

Características básicas de los transistores

En la Fig. 40 se han ilustrado los símbolos gráficos para los transistores PNP y NPN.



(A) TRANSISTOR PNP (B) TRANSISTOR NPN Fig. 40

El transistor PNP (Fig. 40 A) está formado por un semiconductor de base tipo N y un colector y emisor tipo P. Los portadores de corriente (mayoritarios) emisor y colector están integrados por lagunas, que actúan como cargas positivas. Cuando el colector se halla polarizado negativamente con respecto al emisor las lagunas circulan internamente desde el emisor al colector. En el circuito externo los electrones circulan desde el emisor al colector.

El transistor NPN (Fig. 40 B) está constituido por una base tipo P y un colector y emisor tipo N. Los portadores de corriente (mayoritarios) emisor a colector son electrones. Cuando el colector se polariza positivamente con respecto al emisor los electrones circulan internamente

desde el emisor al colector. En el circuito externo los electrones circulan desde el colector al emisor.

La primera letra del tipo del transistor indica la polaridad del voltaje de emisor con respecto a la base. El emisor de un transistor PNP es positivo con respecto a la base; el emisor de un transistor NPN es negativo con respecto a la base.

La segunda letra del tipo del transistor indica la polaridad del colector con respecto a la base. El colector de un transistor PNP es negativo con respecto a la base; el colector de un transistor NPN es positivo con respecto a la base.

La dirección de la corriente de electrones siempre es contraria a la dirección de la flecha en el símbolo gráfico que indica el emisor (la flecha del emisor indica la circulación convencional de corriente, de + a –). En el transistor PNP los electrones salen del emisor (contrarios a la flecha) y entran en el colector. En el transistor NPN los electrones circulan hacia el emisor y salen del colector (como en una válvula electrónica).

La juntura base-emisor siempre está polarizada en forma directa; es decir, de manera tal que repele la mayoría de los portadores sobre la juntura. En el transistor PNP las lagunas se rechazan desde el emisor positivo hacia la base negativa; en el transistor NPN los electrones se dirigen desde el emisor negativo hacia la base positiva.

La juntura colector-base siempre está polarizada en forma inversa, de forma tal que atrae a la mayoría de los portadores de corriente desde la base al colector.

Un voltaje de entrada que ayude (aumente) al bias directo aumenta la corriente de emisor y colector.

Un voltaje de entrada que se opone (disminuye) al bias directo disminuye la corriente de colector y emisor.

Configuraciones de los amplificadores a transistores

En la Fig. 41 se han ilustrado las tres configuraciones básicas que pueden adoptar los amplificadores a transistores. Éstas se conocen como emisor común (EC), base común (BC) y colector común (CC); este último se conoce también como seguidor por emisor. Las características esenciales de las tres configuraciones se han agrupado en la Tabla Nº 16.

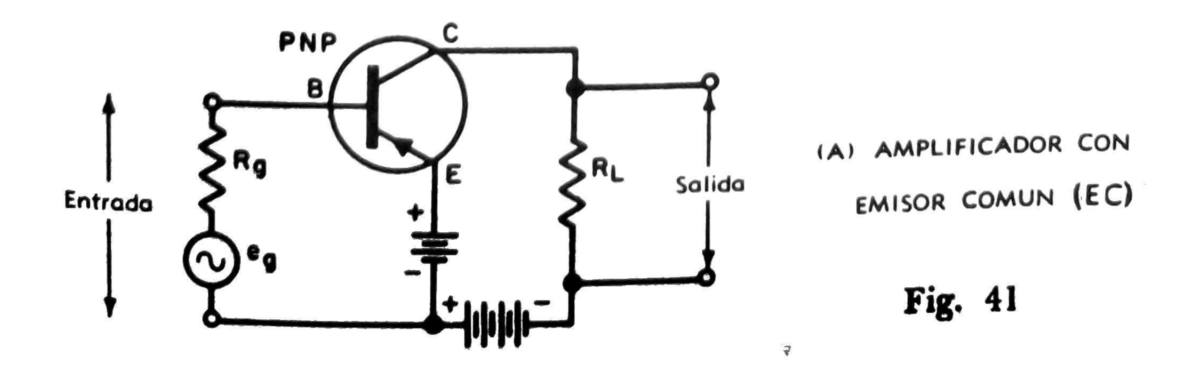


Fig. 41

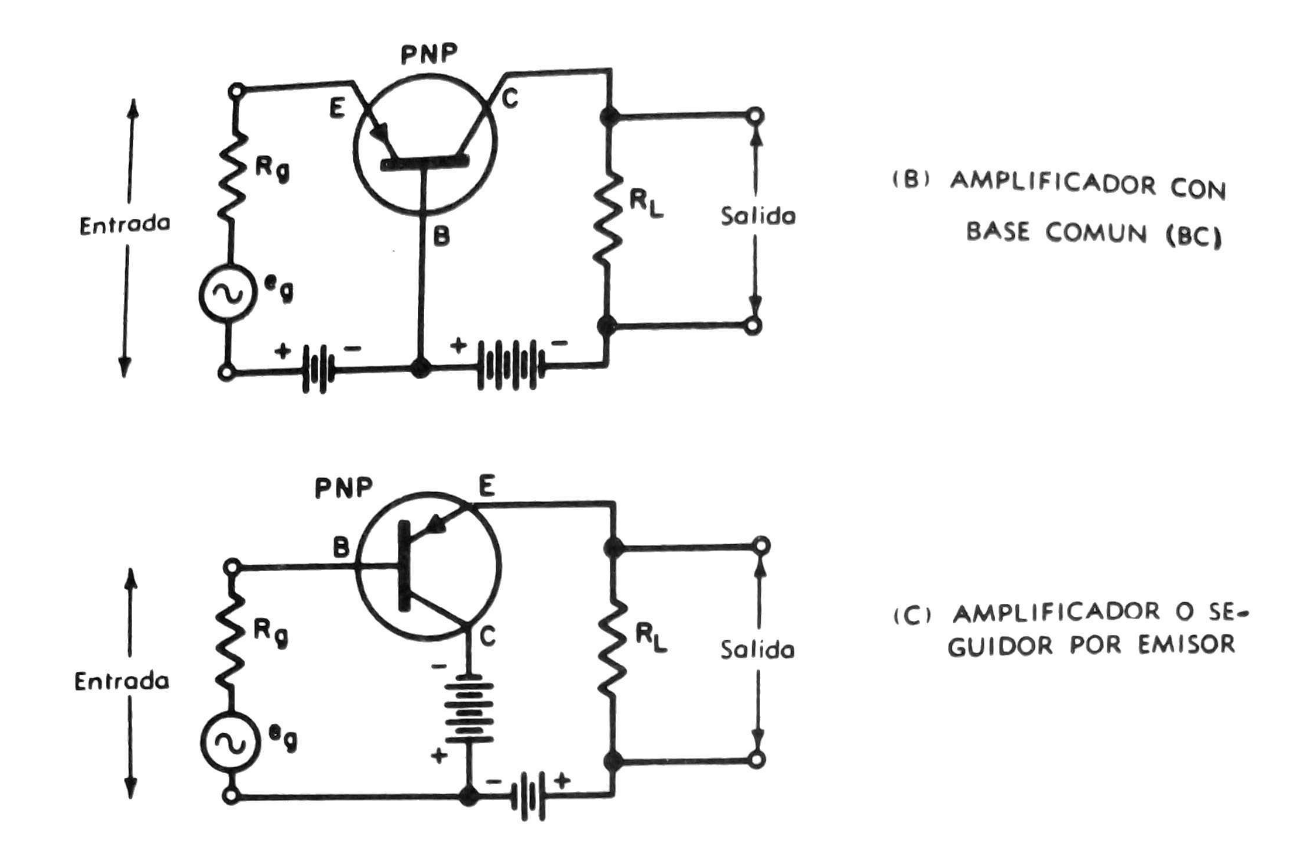


TABLA Nº 16 - CARACTERÍSTICAS DE AMPLIFICADORES TRANSISTORIZADOS

Cantidad característica	*Configuración del circuito*		
	Emisor común	*Base común*	*Colector común (seguidor por emisor)*
Imped. de entr.	**Moderada (1,3 K)**	**Baja (35 ohms)**	**Muy alta (350 K)**
Imped. de salida	**Moderada (50 K)**	**Muy alta (1 M)**	**Baja (500 ohms)**
Gan. de corriente	**Alta (35)**	**Menor que 1 (—0,98)**	**Alta (—36)**
Gan. de voltaje	**Alta (—270)**	**Alta (380)**	**Uno (1)**
Gan. de potencia	**Alta (40 db)**	**Moderada (26 db)**	**Baja (15 db)**
Fase de la señal	**Invertida 180°**	**En fase**	**En fase con la entrada**

Parámetros del transistor

Para pequeñas señales de CA el transistor se puede analizar como un cuadripolo con dos terminales de entrada y dos de salida, como se ilustra

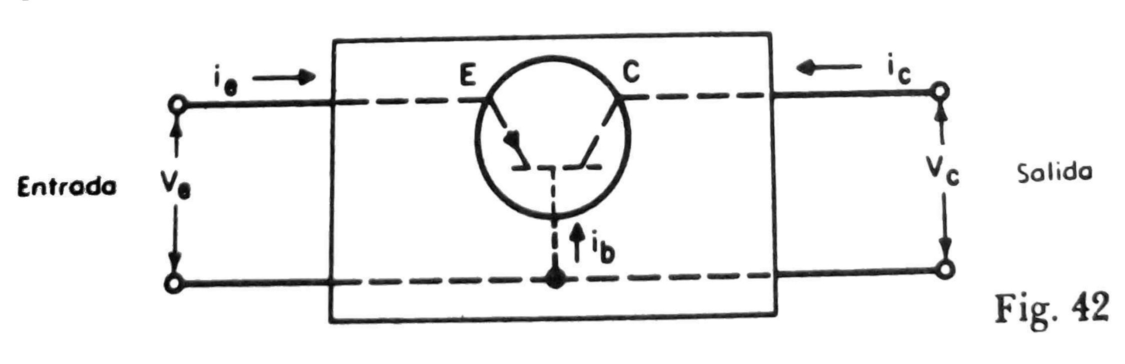


Fig. 42

en la Fig. 42. Las características del circuito con base común se pueden especificar en términos de cuatro parámetros conocidos como híbridos o "parámetros h".

Los parámetros híbridos para la configuración con base común están definidos por las siguientes ecuaciones:

$$v_e = h_{ib}\, i_e + h_{rb}\, v_c$$

$$i_c = h_{fb}\, i_e + h_{ob}\, v_c$$

En la ecuación anterior, v_e, v_c, i_c, i_e tienen el significado indicado en la nomenclatura dada al comienzo de este capítulo. Los parámetros híbridos h_{ib}, h_{rb}, h_{fb}, h_{oy} se definen en la siguiente forma:

h_{ib} = Resistencia (o impedancia) de entrada con la salida de CA cortocircuitada.

h_{rb} = Relación de voltaje inverso transferido con la entrada de CA a circuito abierto.

h_{fb} = Relación directa de transferencia de corriente (denominada alfa) (α) con la salida de CA cortocircuitada.

h_{ob} = Conductancia de salida con la entrada de CA a circuito abierto.

El código que se emplea para simbolizar los parámetros híbridos es el siguiente:

h = híbrido
i = para entrada (como subíndice).
r = para inverso (como subíndice).
f = directo o salida (como subíndice).
b = configuración con base común (segundo subíndice).

Determinación de los parámetros híbridos

a) Resistencia de entrada (h_{ib})

$$h_{ib} = \left(\frac{v_e}{i_e}\right)_{v_c = 0} = \left(\frac{\delta V_e}{\delta I_e}\right)_{V_c \text{ constante}} \quad \text{(en ohms)}$$

b) **Relación inversa** de transferencia de voltaje (h_{rb})

$$h_{rb} = \left(\frac{v_e}{v_c}\right)_{i_e = 0} = \left(\frac{\delta V_e}{\delta V_c}\right)_{I_e \text{ constante}}$$

c) **Relación directa** de transferencia de corriente (h_{fb}) (o α)

$$h_{fb}\ (\alpha) = \left(\frac{i_c}{i_e}\right)_{v_c = 0} = \left(\frac{\delta I_c}{\delta I_e}\right)_{V_c \text{ constante}}$$

d) **Conductancia de salida** (h_{ob})

$$h_{ob} = \left(\frac{i_c}{v_c}\right)_{i_e = 0} = \left(\frac{\delta I_c}{\delta V_c}\right)_{I_e \text{ constante}} \text{(en mhos)}$$

Resumen de características de comportamiento

Las características de comportamiento de las configuraciones con emisor común (EC) y con colector común (CC) corresponden a aquellas dadas para el circuito con base común y comprenden solamente un cambio en la letra subíndice de los parámetros h. A continuación se ofrece un resumen de las características más importantes. Para usar las fórmulas en una configuración particular se agrega la letra correspondiente en el subíndice del parámetro h (por ejemplo, para base común b, para emisor común e, y c para colector común) .

Resistencia de entrada: $R_i = h_i - \dfrac{h_f\ h_r\ R_L}{1 + h_o\ R_L}$

Resistencia de salida: $R_o = \dfrac{h_i + R_g}{h_o h_i - h_f h_r + h_o R_g}$

Conductancia salida: $Y_o = \dfrac{1}{R_o} = h_o - \dfrac{h_f\ h_r}{h_i + R_g}$

Ganancia de corriente: $A_i = \dfrac{h_f}{1 + h_o\ R_L}$

Ganancia de voltaje: $A_v = \dfrac{h_f\ R_L}{R_L\ (h_f h_r - h_i h_o) - h_i}$

Ganancia de potencia: $G = \dfrac{\text{potencia en la carga}}{\text{potencia en el transistor}} = A_v \times A_i$

$$G = \frac{(h_f)^2\ R_L}{(1 + h_o\ R_L)\ [\ (h_f h_r - h_i h_o)\ R_L - h_i]}$$

Ganancia potencia (db): $db = 10 \log_{10}\ (G) = 10 \log_{10} A_v A_i$

Ganancia pot. adaptada: $G_m = \dfrac{h_f^2}{h_i h_o \left(1 + \sqrt{1 - \dfrac{h_f\ h_r}{h_i\ h_o}}\right)^2}$

Resistencia adaptada del generador: $(R_s = R_i)$

$$R_{gm} = h_i \sqrt{1 - \frac{h_f\ h_r}{h_i\ h_o}}$$

Resistencia adaptada de carga: $(R_L = R_o)$

$$R_{Lm} = \frac{1}{h_o \sqrt{1 - \dfrac{h_f\ h_r}{h_i\ h_o}}}$$

CAPÍTULO 10

FILTROS Y ATENUADORES

Filtros pasabajos de k constante

Un filtro de k constante presenta una adaptación de impedancia a la línea, a una sola frecuencia. Para todas las otras frecuencias la impedancia queda desadaptada. Las tres configuraciones básicas son T,L (media sección) y pi.

Un filtro pasabajos de k constante pasará las frecuencias por debajo de la calculada y atenuará aquellas otras que estén por encima de esa frecuencia. En la Fig. 43 se indican las configuraciones de los circuitos, las características de atenuación y de impedancia de los tres tipos de filtros de k constante, pasabajos.

La atenuación de la sección L es igual a la mitad de la sección T o de la sección pi. La impedancia del filtro es igual a la impedancia característica de la línea (Z_o), solamente a frecuencia cero. Para todas las otras frecuencias las impedancias de entrada y salida del filtro son iguales a Z_1 o a Z'_1, como se indica en la Fig. 43.

Los diversos parámetros de los filtros pasabajos de k constante se determinan por medio de las siguientes fórmulas:

$$L_1 = \frac{Z_o}{\pi f_c} \qquad C_2 = \frac{1}{\pi f_c Z_o}$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{L_1}{C_2}} \qquad f_c = \frac{1}{\pi \sqrt{L_1 C_2}}$$

Como se especifica en la Fig. 43, los valores obtenidos para L_1 y C_2 deben dividirse por 2.

Filtros pasaaltos de k constante

El filtro pasaaltos permitirá pasar todas las frecuencias por encima de la calculada y atenuará todas las inferiores.

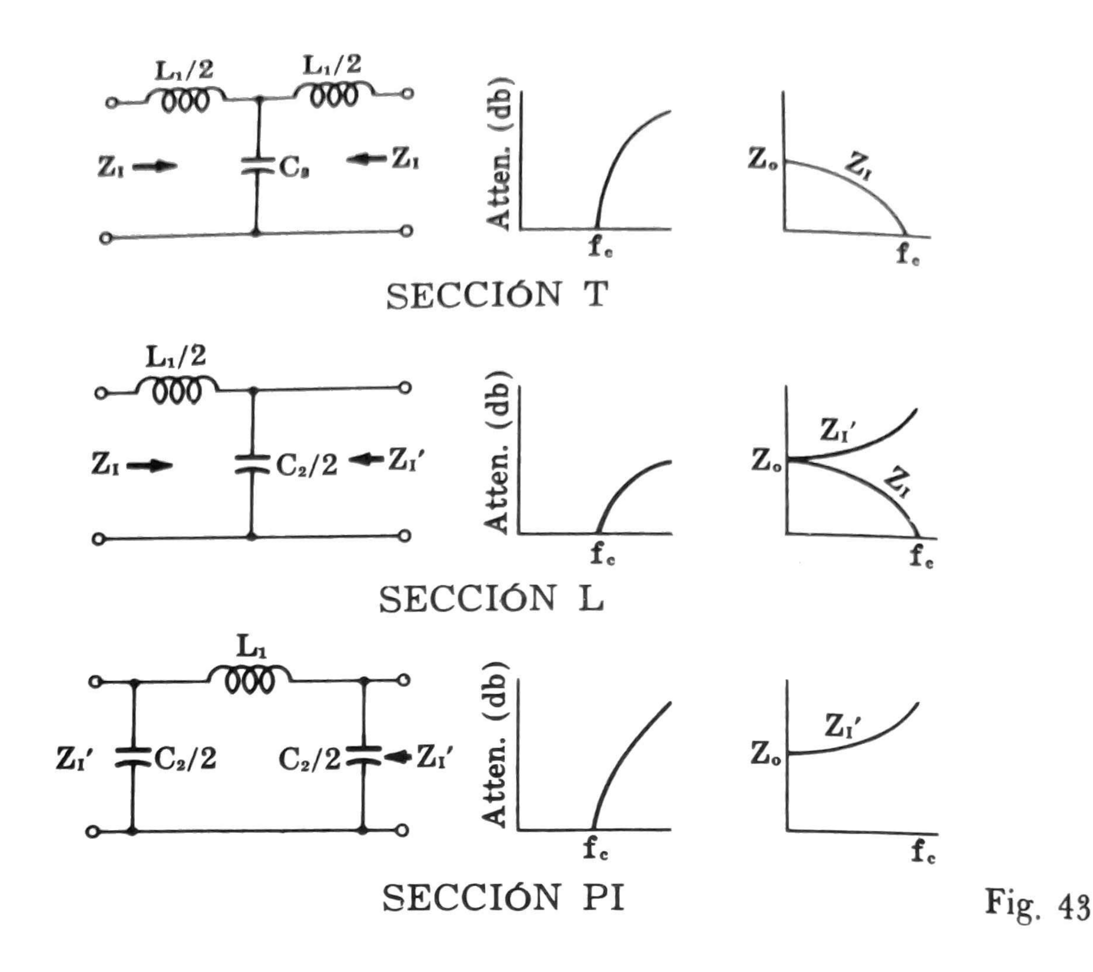


Fig. 43

En la Fig. 44 se indican las configuraciones de los circuitos, características de atenuación y de impedancia para los filtros pasaaltos de k constante.

Las fórmulas para determinar los valores de los elementos en los filtros pasaaltos de k constante son las siguientes:

$$L_2 = \frac{Z_o}{4\pi f_c} \qquad C_1 = \frac{1}{4\pi f_c Z_o}$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{L_2}{C_1}} \qquad f_c = \frac{1}{4\pi\sqrt{L_2 C_1}}$$

Filtros pasabanda de k constante

Los filtros pasabanda permiten pasar las frecuencias de cierta banda y rechazan todas las otras. En la Fig. 45 se indica la configuración de los mismos y las características de transmisión.

Las fórmulas para determinar el valor de los diversos elementos del filtro pasabanda de k constante son:

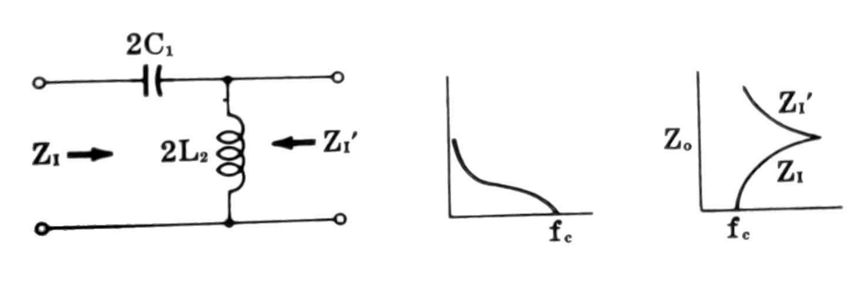
$$L1 = \frac{Z_o}{\pi\,(f_2 - f_1)} \qquad L_2 = \frac{(f_2 - f_1)}{4\pi f_1 f_2}$$

$$C_2 = \frac{1}{\pi(f_2 - f_1)Z_o} \qquad C_1 = \frac{(f_2 - f_1)}{4\pi f_1 f_2 Z_o}$$

$$f_m = \sqrt{f_1 f_2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{L_1}{C_2}} = \sqrt{\frac{L_2}{C_2}}$$

SECCIÓN T



SECCIÓN L

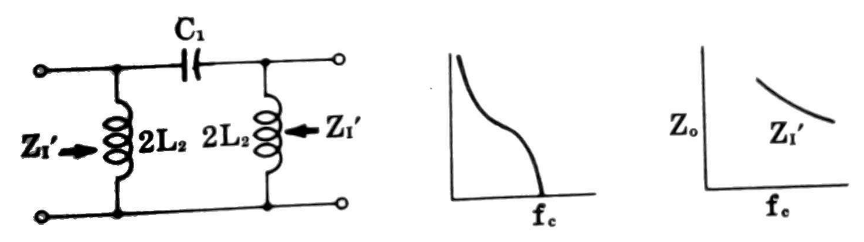


Fig. 44

SECCIÓN PI

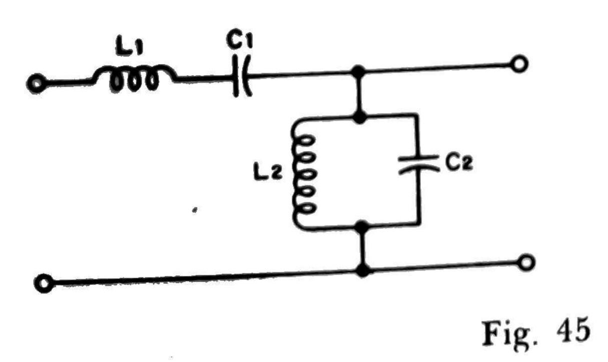
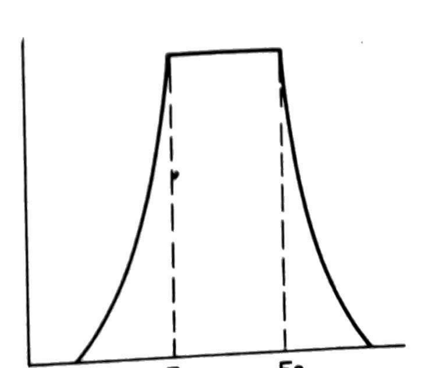
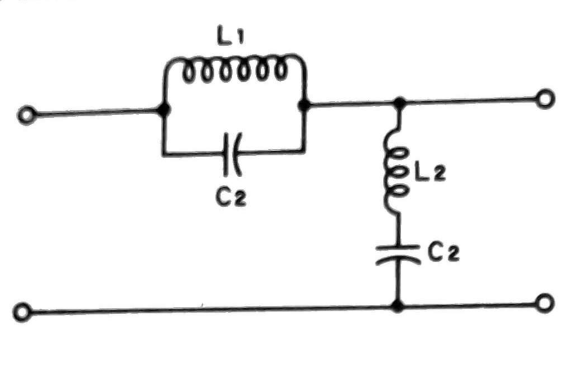


Fig. 45



Filtros de rechazo de banda de k constante

Los filtros de rechazo de banda atenúan cierta banda de frecuencias mientras dejan pasar todas las otras. En la Fig. 46 se muestran la configuración circuital y las características de transmisión. Las fórmulas para determinar el valor de los componentes, frecuencia e impedancia de línea son:



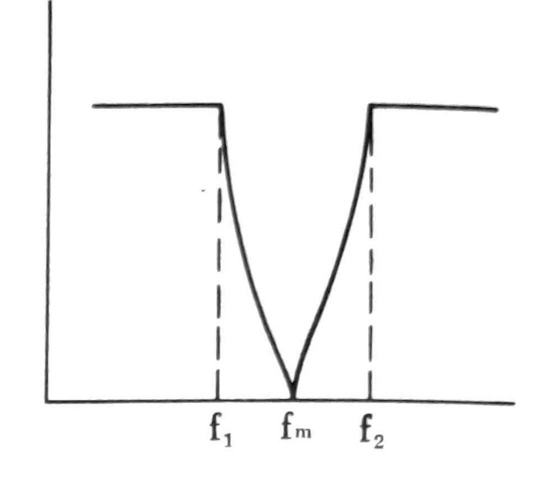


Fig. 46

$$L_1 = \frac{(f_2-f_1)Z_o}{\pi f_1-f_2} \qquad L_2 = \frac{Z_o}{4\pi (f_2-f_1)}$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi (f_2-f_1)Z_o} \qquad C_2 = \frac{f_1-f_2}{\pi f_1 f_2 Z_o}$$

$$f_m = \sqrt{f_1 f_2} = \frac{1}{2\sqrt{L_1C_1}} = \frac{1}{2\sqrt{L_2C_2}}$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = \sqrt{\frac{L_2}{C_2}}$$

En las expresiones anteriores, y en las señaladas para otros tipos de **filtros, los símbolos** tienen el siguiente significado:

L_1, L_2 = inductancia de las bobinas, en henrios
C_1, C_2 = capacidades, en faradios
f_1, f_2 = frecuencias a los costados de la banda pasante, en c/s
f_m = frecuencia central de la banda pasante, en c/s
$f_{1\infty}$, $f_{2\infty}$ = frecuencias de atenuación infinita, en c/s
Z_o = impedancia de la línea, en ohms.

Filtros de m-derivada

En los filtros de m-derivada el diseñador puede controlar la impedancia o las características de atenuación. Primero se calculan los valores

como si se tratara de un filtro de k constante y luego se modifican por medio de una expresión algebraica que contiene la constante m. El término m es un número positivo comprendido entre 0 y 1 y este valor gobierna las características del filtro.

En el diseño de filtros de m-derivada están comprendidas dos frecuencias: la de corte y la de atenuación infinita. Seleccionando el valor apropiado de m es posible controlar el espaciado entre ambas frecuencias. En la Fig. 47 se muestra el efecto que diferentes valores de m tienen sobre la impedancia característica.

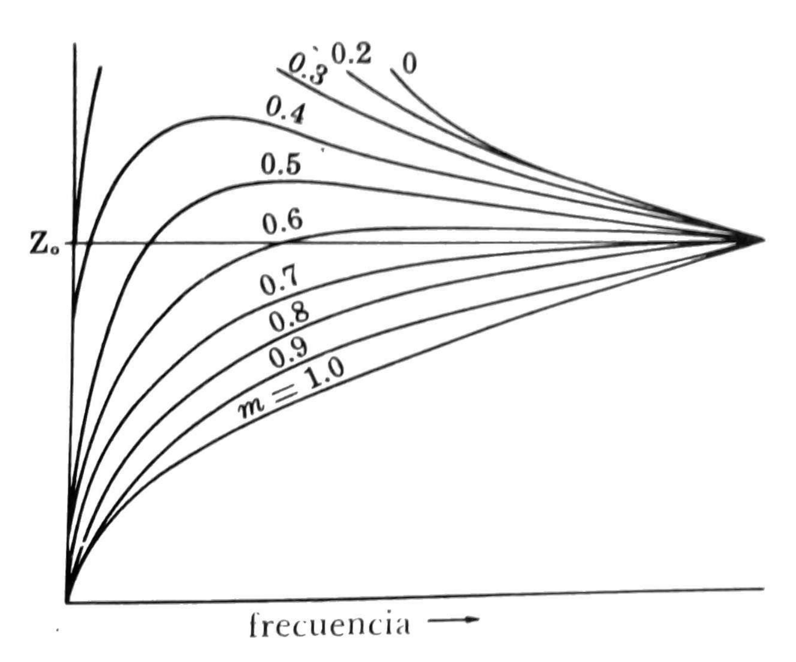


Fig. 47

En las curvas de la Fig. 47 puede observarse que la mejor adaptación de impedancias se logra cuando m = 0,6. Por tanto, este es el valor más frecuentemente usado. En la Fig. 48 se incluyen las características de atenuación para diversos valores de m. En todos los casos la atenuación aumenta a un máximo y luego cae. Este gráfico se aplica tanto para los filtro pasabajos como para los pasaaltos.

El valor de m se determina por medio de las siguientes fórmulas:

$$m = \sqrt{1 - (f_c/f\alpha)^2}$$

o

$$m = \sqrt{1 - (f\alpha/f_c)^2}$$

se selecciona la fórmula que dé para m un número positivo.

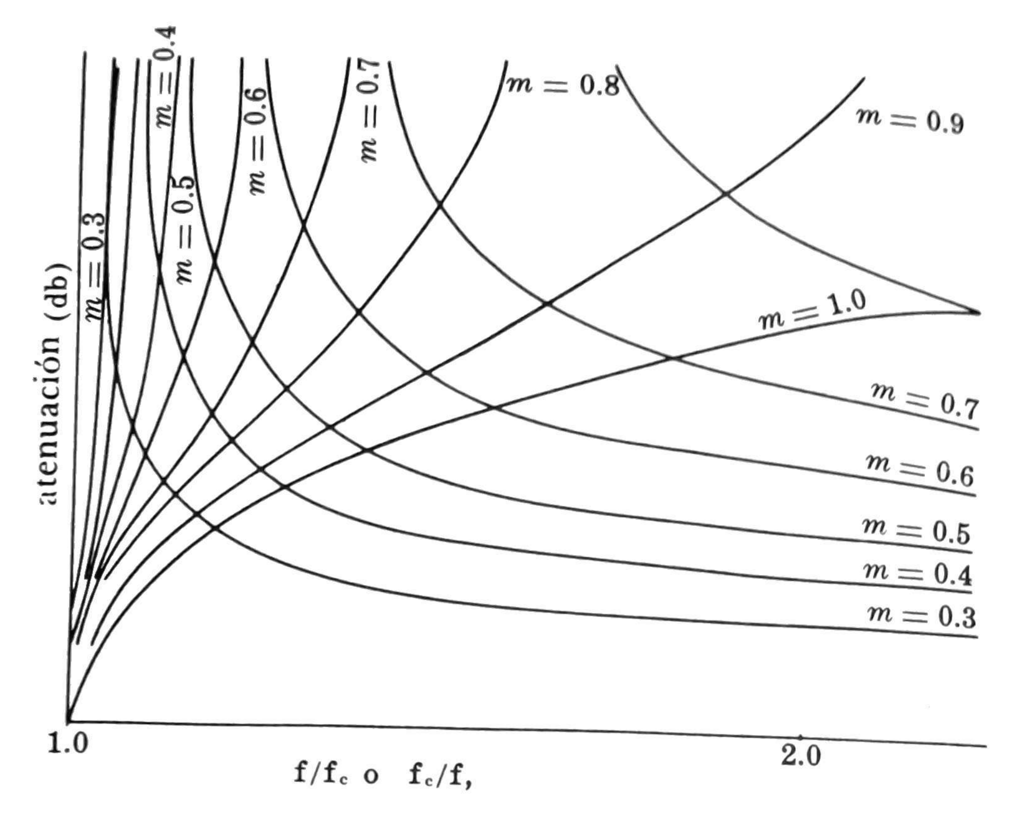
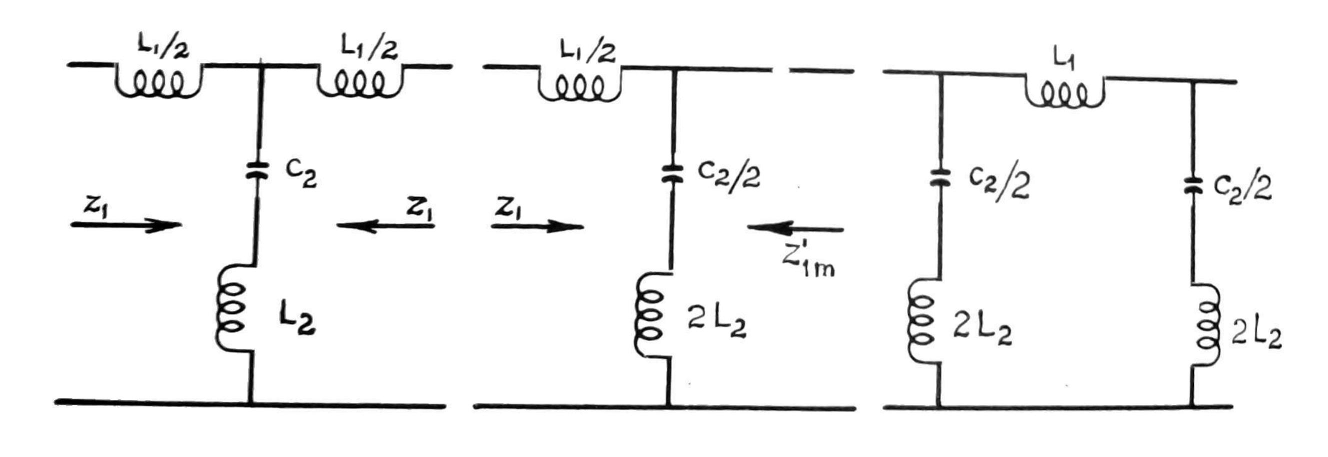


Fig. 48

Filtros pasabajos de m-derivada

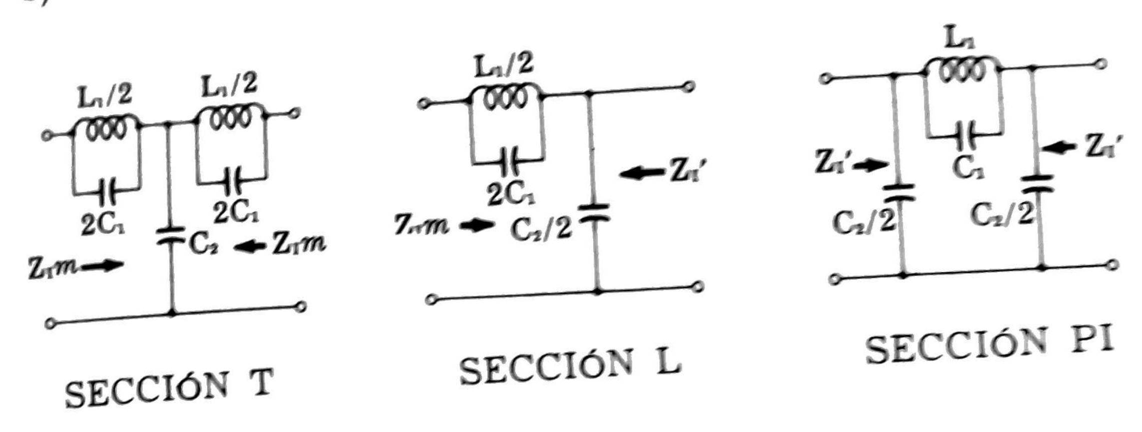
a) Filtros serie (Fig. 49).



$$L_1 = m\left(\frac{Z_o}{2\pi f_c}\right) \qquad L_2 = \left(\frac{1-m^2}{4m}\right)\left(\frac{Z_o}{2\pi f_c}\right)$$

$$C_2 = m\left(\frac{1}{\pi f_c Z_o}\right)$$

b) Filtros *shunt* (Fig. 50).

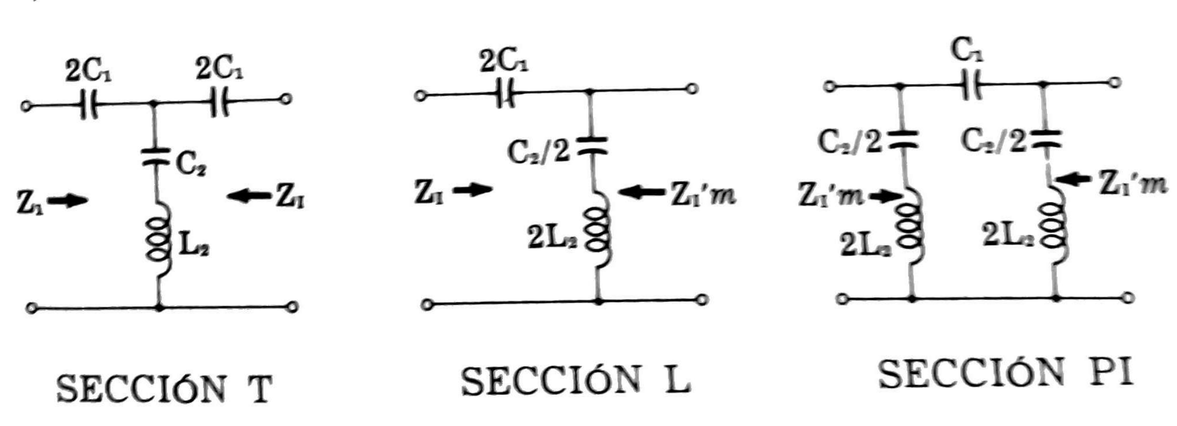


$$C_1 = \left(\frac{1 - m^2}{4m}\right)\left(\frac{1}{\pi f_c Z_o}\right) \qquad C_2 = m\left(\frac{1}{\pi f_c Z_o}\right)$$

$$L_1 = m\,(Z_o/\pi\, f_c)$$

Filtros pasaaltos de m-derivada

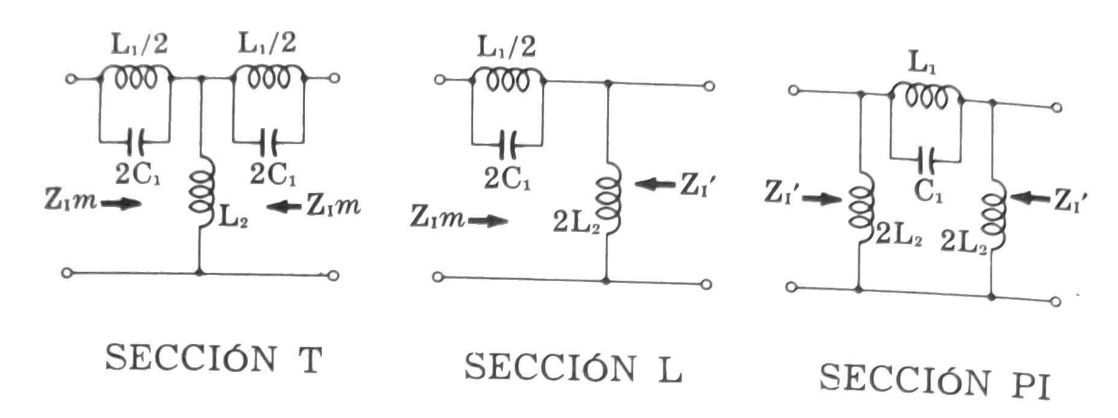
a) Filtros serie (Fig. 51).



$$C_1 = \frac{\left(\frac{1}{4\pi f_c Z_o}\right)}{m} \qquad C_2 = \left(\frac{4m}{1 - m^2}\right)\left(\frac{1}{4\pi f_c Z_o}\right)$$

$$L_2 = \frac{Z_o/4\,\pi\, f_c}{m}$$

b) Filtros *shunt* (Fig. 52).



SECCIÓN T SECCIÓN L SECCIÓN PI

$$L_1 = \left(\frac{4m}{1-m^2}\right)\left(\frac{Z_o}{4\pi f_c}\right) \qquad L_2 = \frac{Z_o/4\pi f_c}{m}$$

$$C_1 = \frac{1/4\pi f_c Z_o}{m}$$

En todas las fórmulas anteriores los símbolos tienen el siguiente significado:

L_1, L_2 = inductancia de las bobinas, en henrios
C_1, C_2 = capacidades, en faradios
m = constante entre 0 y 1 (ver texto)
Z_o = impedancia de la línea, en ohms
fc = frecuencia de corte, en c/s

ATENUADORES

Generalidades

Un atenuador es un circuito no inductivo empleado para reducir la intensidad de las señales de audio o de radiofrecuencia sin introducir distorsión. Las resistencias empleadas pueden ser fijas o variables. Los atenuadores pueden diseñarse para trabajar entre impedancias iguales o desiguales; por tanto, se los emplea frecuentemente como circuitos adaptadores de impedancias.

Todo atenuador trabajando entre impedancias distintas debe introducir cierta cantidad mínima de pérdidas. Estas pérdidas son las que se indican en el gráfico de la Fig. 53. La relación de impedancias es la impedancia de entrada dividida por la impedancia de salida, o viceversa, siempre que se obtenga un valor mayor que 1.

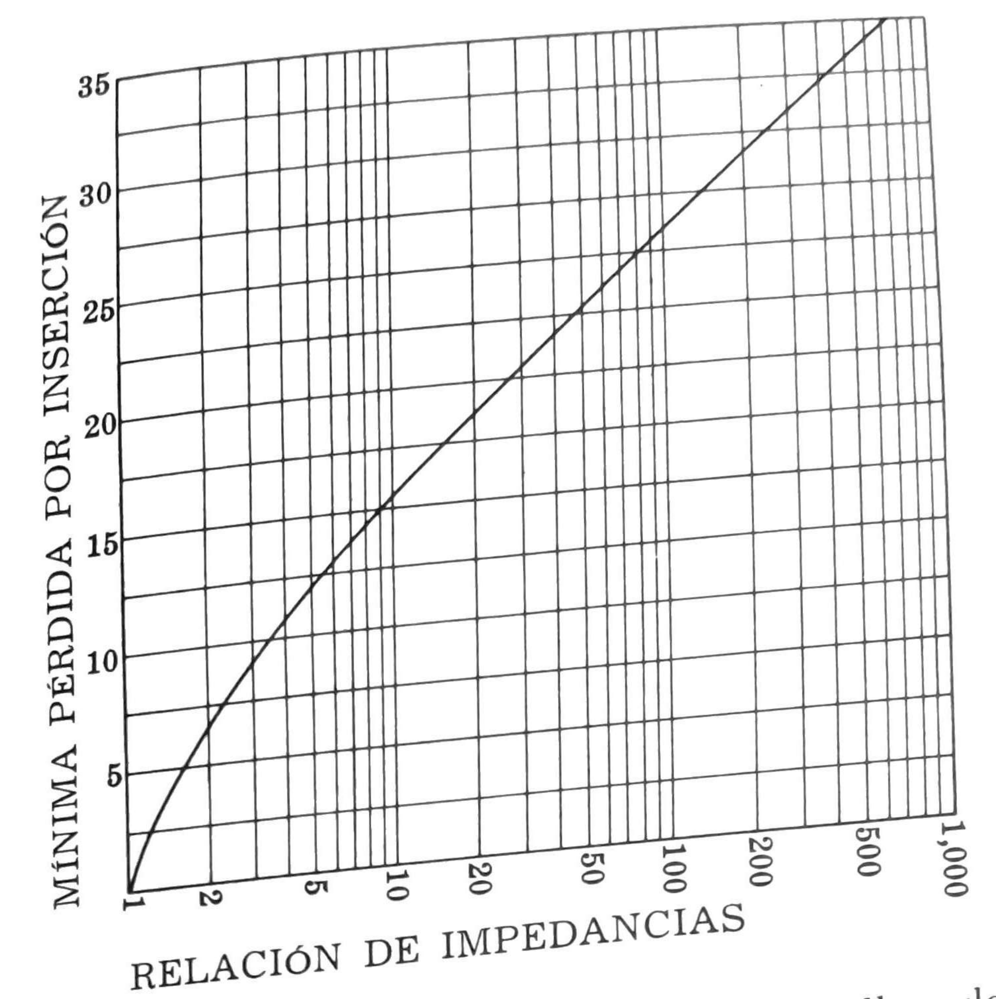


Fig. 53

En el cálculo de los atenuadores se emplea un factor llamado K. Este factor es la relación de corrientes, voltajes o potencias, correspondiente a determinado valor de atenuación. En la Tabla Nº 16 se indican los factores K para los valores más comunes de pérdidas.

En el diseño de un atenuador intervienen cuatro pasos: 1) Determinar el tipo de malla o red requerida. 2) Si las impedancias son desiguales, calcular la relación de impedancias de entrada y salida y referirla a la Fig. 53 para determinar el mínimo valor de pérdidas. 3) Por medio de la Tabla Nº 17 determinar el valor de K para las pérdidas deseadas. 4) Calcular los valores de las resistencias empleando las fórmulas que se ofrecen más adelante.

TABLA Nº 17 - FACTORES K PARA DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DEL ATENUADOR

db	K	db	K	db	K
0,05	1,0058	1,5	1,1885	3,5	1,4962
0,1	1,0116	2,0	1,2589	4,0	1,5849
0,5	1,0593	2,5	1,3335	4,5	1,6788
1,0	1,1220	3,0	1,4125	5,0	1,7783

TABLA Nº 17 - FACTORES K PARA DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DEL ATENUADOR

db	K	db	K	db	K
5,5	1,8837	23,0	14,125	45,0	177,83
6,0	1,9953	24,0	15,849	46,0	199,53
6,5	2,1135	25,0	17,783	47,0	223,87
7,0	2,2387	26,0	19,953	48,0	251,19
7,5	2,3714	27,0	22,387	49,0	281,84
8,0	2,5119	28,0	25,119	50,0	316,23
8,5	2,6607	29,0	28,184	51,0	354,81
9,0	2,8184	30,0	31,623	52,0	398,11
9,5	2,9854	31,0	35,481	54,0	501,19
10,0	3,1623	32,0	39,811	55,0	562,34
11,0	3,5481	33,0	44,668	56,0	630,96
12,0	3,9811	34,0	50,119	57,0	707,95
13,0	4,4668	35,0	56,234	58,0	794,33
14,0	5,0119	36,0	63,096	60,0	1000,00
15,0	5,6234	37,0	70,795	65,0	1778,30
16,0	6,3096	38,0	79,433	70,0	3162,30
17,0	7,0795	39,0	89,125	75,0	5623,40
18,0	7,9433	40,0	100,000	80,0	10.000
19,0	8,9125	41,0	112,202	85,0	17.783
20,0	10,0000	42,0	125,89	90,0	31.623
21,0	11,2202	43,0	141,25	95,0	56.234
22,0	12,589	44,0	158,49	100	100.000

Atenuador combinado o divisor (**Fig. 54**)

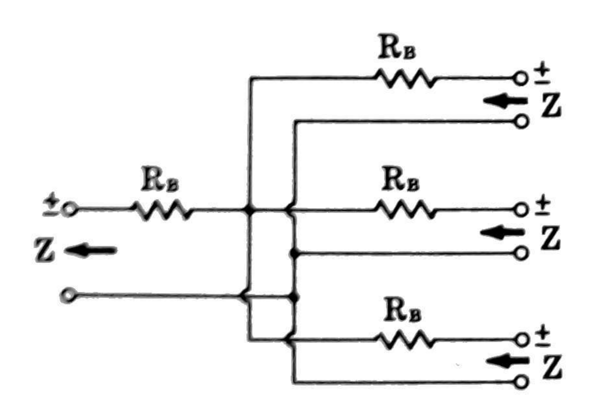
$$R_E = \left(\frac{N-1}{N+2}\right) Z$$

, donde

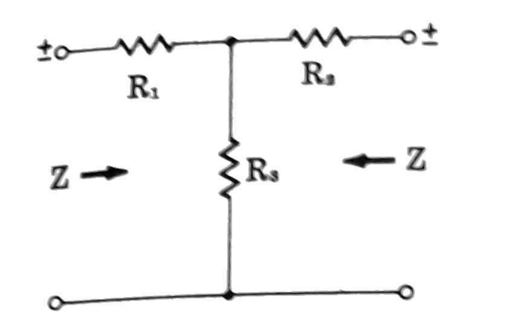
R_B = valor de las resistencias componentes, en ohms

N = número de circuitos alimentados por la fuente de impedancia Z

Z = impedancia de la fuente, ohms



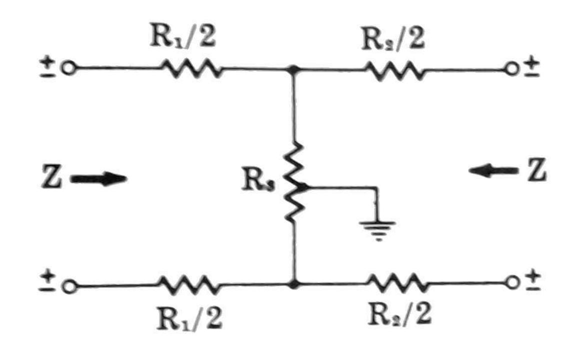
Atenuador tipo T (entre impedancias iguales) (Fig. 55)



$$R_1 \text{ y } R_2 = \left(\frac{K-1}{K+1}\right) Z$$

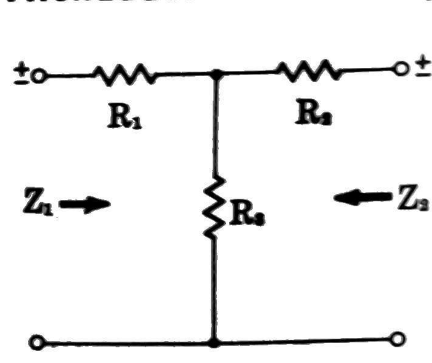
$$R_3 = \left(\frac{K}{K^2-1}\right) 2Z$$

Atenuador tipo H (T balanceada) (Fig. 56)



Se calculan los valores de R1, R2 y R3 con las fórmulas dadas para el atenuador tipo T. Luego se dividen por la mitad los valores de R1 y R2, como se indica en la Fig. 56. La derivación de R3 debe hallarse exactamente en el centro.

Atenuador T entre impedancias desiguales (Fig. 57)



$$R_1 = Z_1 \left(\frac{K^2+1}{K^2-1}\right) - 2\sqrt{Z_1 Z_2} \left(\frac{K}{K^2-1}\right)$$

$$R_2 = Z_2 \left(\frac{K^2+1}{K^2-1}\right) - 2\sqrt{Z_1 Z_2} \left(\frac{K}{K^2-1}\right)$$

$$R_3 = 2\sqrt{Z_1 Z_2} \left(\frac{K}{K^2-1}\right)$$

donde Z_1 = impedancia mayor.

Atenuador T en puente (desbalanceado) (Fig. 58)

$$R_1 = Z \qquad R_5 = (K-1)\,Z$$

$$R_6 = \left(\frac{1}{K-1}\right) Z$$

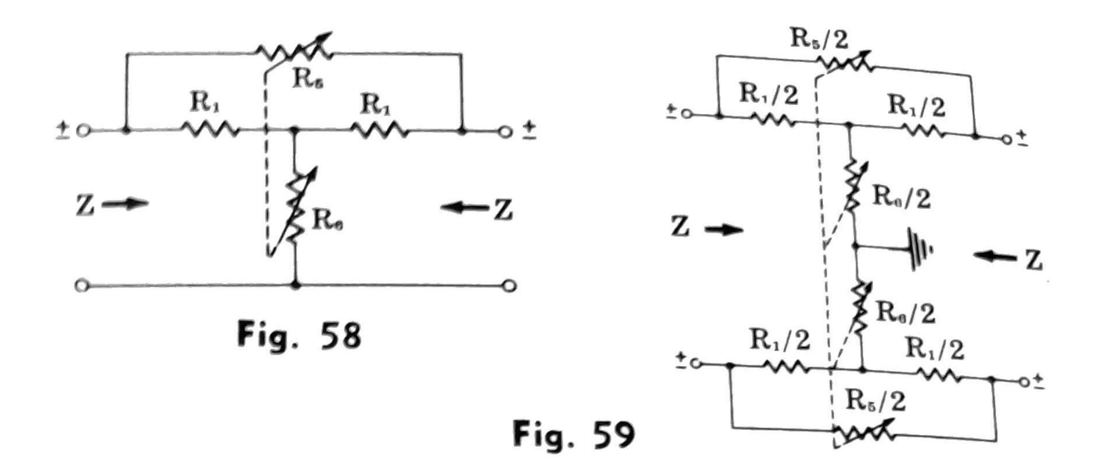


Fig. 58

Fig. 59

Las resistencias R5 y R6 están unidas mecánicamente a un eje común, y cada una varía su valor inversamente con respecto a la otra.

Atenuador T en puente balanceado (Fig. 59)

Se calculan los valores de R1, R5 y R6 con las mismas fórmulas dadas para el puente desbalanceado del caso anterior. Luego se dividen los valores por la mitad, como se indica en la Fig. 59.

Atenuadores tipo L

Un atenuador tipo L permite una adaptación de impedancias solamente en una dirección. Si las impedancias entre las cuales trabaja son desiguales puede adaptar una de ellas pero no ambas. Las flechas, en las ilustraciones que se dan para el caso, señalan la dirección de la adaptación de impedancias.

a) Entre impedancias iguales y con adaptación de impedancias en la dirección de la rama en serie (Fig. 60).

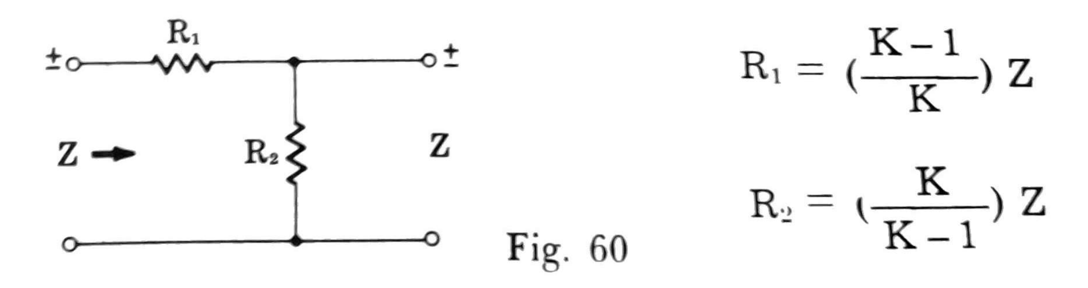


Fig. 60

$$R_1 = \left(\frac{K-1}{K}\right) Z$$

$$R_2 = \left(\frac{K}{K-1}\right) Z$$

b) Entre impedancias iguales con la adaptación de impedancias en la dirección de la rama *shunt* (Fig. 61).

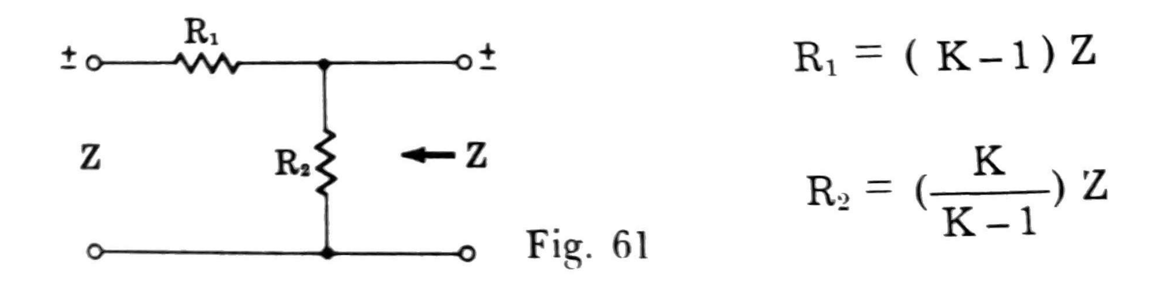
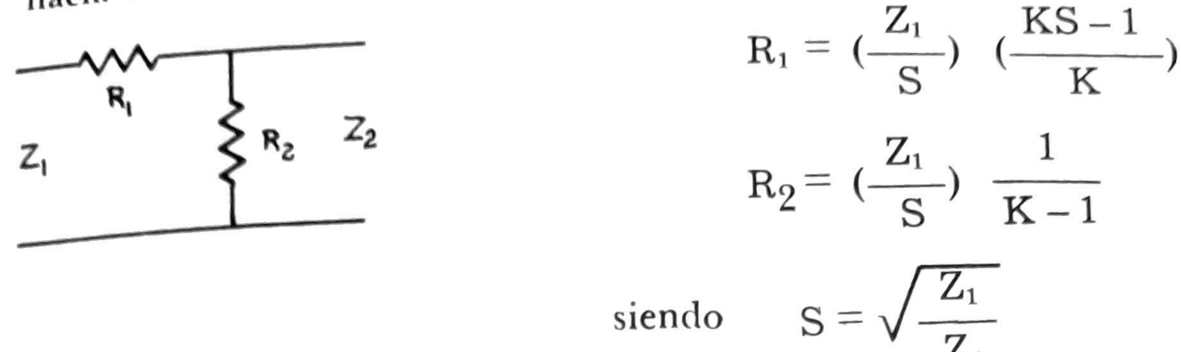


Fig. 61

$$R_1 = (K-1) Z$$

$$R_2 = \left(\frac{K}{K-1}\right) Z$$

c) Entre impedancias desiguales y con la adaptación de impedancias hacia el valor mayor (Fig. 62).



$$R_1 = \left(\frac{Z_1}{S}\right)\left(\frac{KS-1}{K}\right)$$

$$R_2 = \left(\frac{Z_1}{S}\right)\frac{1}{K-1}$$

siendo $S = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$

d) Entre impedancias desiguales y con la adaptación de impedancias hacia el valor menor (Fig. 63).

$$R_1 = \left(\frac{Z_1}{S}\right)(K-S)$$

$$R_2 = \left(\frac{Z_1}{S}\right)\left(\frac{K}{KS-1}\right)$$

siendo $S = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$

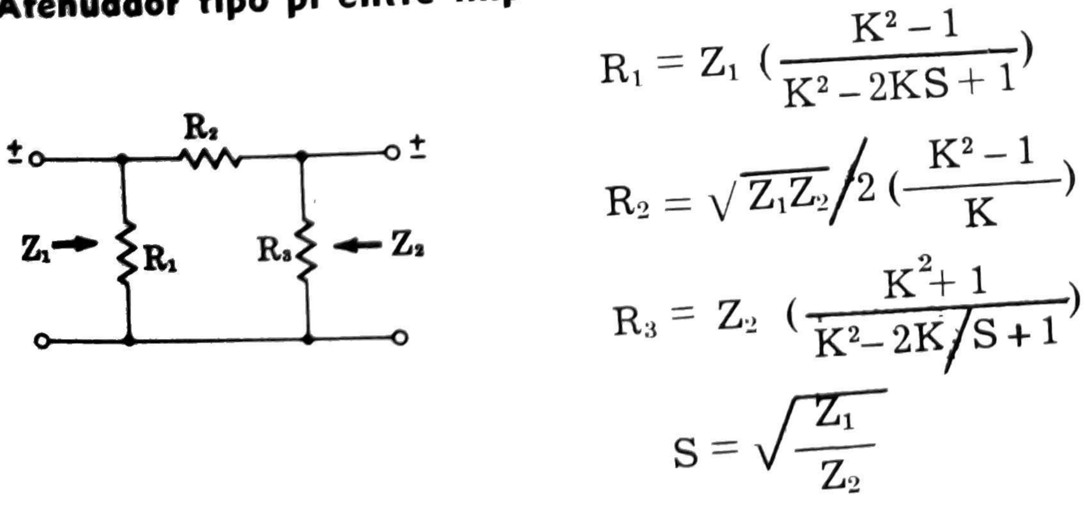
Atenuador tipo pi entre impedancias iguales (Fig. 64)



$$R_1 = \left(\frac{K+1}{K-1}\right)Z$$

$$R_2 = \left(\frac{K^2-1}{2K}\right)\left(\frac{Z_1}{S}\right)$$

Atenuador tipo pi entre impedancias desiguales (Fig. 65)



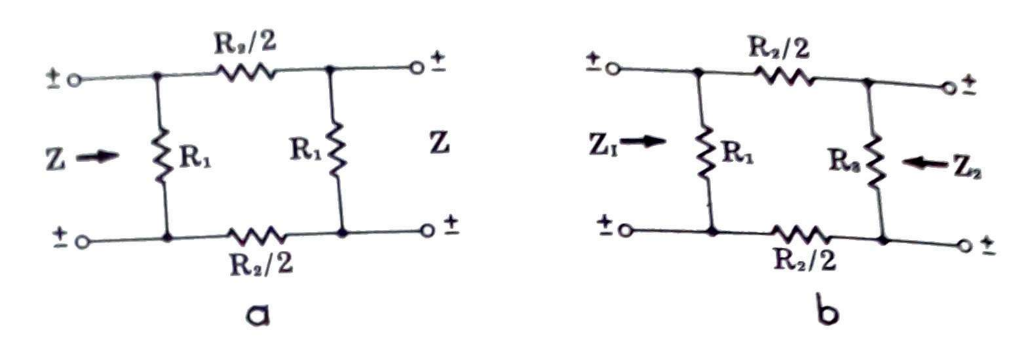
$$R_1 = Z_1\left(\frac{K^2-1}{K^2-2KS+1}\right)$$

$$R_2 = \sqrt{Z_1Z_2}/2\left(\frac{K^2-1}{K}\right)$$

$$R_3 = Z_2\left(\frac{K^2+1}{K^2-2K/S+1}\right)$$

$$S = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$$

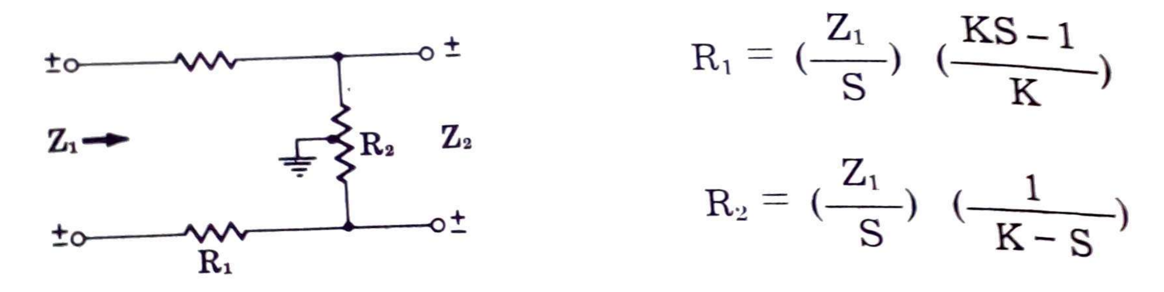
Atenuadores tipo 0 (Fig. 66 a y b)



Se calculan los valores con las fórmulas dadas para los atenuadores tipo pi, luego se dividen por la mitad para las resistencias serie, como se indica en la Fig. 66 (a) para el tipo balanceado y en la Fig. 66 (b) para el tipo desbalanceado.

Atenuadores tipo U

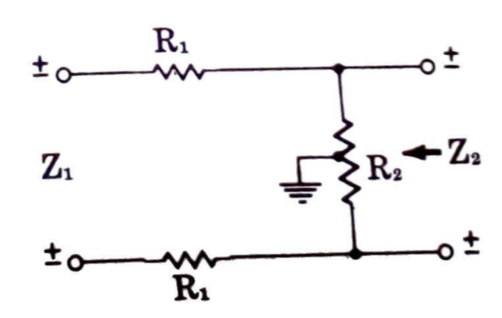
a) Para adaptación de impedancias en la dirección de la rama serie (Fig. 67).



$$R_1 = \left(\frac{Z_1}{S}\right)\left(\frac{KS-1}{K}\right)$$

$$R_2 = \left(\frac{Z_1}{S}\right)\left(\frac{1}{K-S}\right)$$

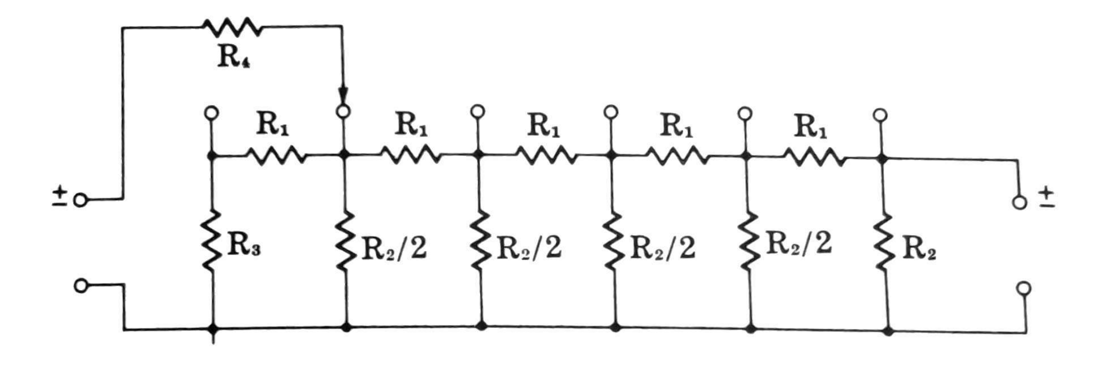
b) Para adaptación de impedancias en la dirección de la rama *shunt* (Fig. 68).



$$R_1 = \left(\frac{Z_1}{S}\right)(K-S) \qquad R_2 = \left(\frac{Z_1}{S}\right)\left(\frac{K}{KS-1}\right)$$

en ambos casos, $S = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$

Atenuador por pasos (Fig. 69)



$$R_1 = \left(\frac{K^2 - 1}{2K}\right) Z \qquad R_2 = \left(\frac{K + 1}{K - 1}\right) Z \qquad R_3 = \frac{Z\ R_2}{Z + R_2}$$

$$R_4 = Z/2 \qquad\qquad Z \text{ entrada} = Z \text{ salida}$$

En este caso K depende de las pérdidas por cada paso individual y no de las pérdidas totales.

CAPÍTULO 11

LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

El comportamiento de una línea de transmisión depende de cuatro constantes:

a) Inductancia por unidad de longitud (L);
b) Capacidad por unidad de longitud (C);
c) Resistencia por unidad de longitud (R);
d) Dispersión entre los conductores o conductancia por unidad de longitud (G).

Una línea de transmisión no tiene distorsión cuando

$$\frac{R}{L} = \frac{G}{C}$$

en ese caso la línea actúa como una resistencia pura. Su impedancia característica (Z_o) y su atenuación (α) son independientes de la frecuencia. La impedancia característica de una línea sin distorsión es

$$Z_o = R_o = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

L = inductancia en henrios por unidad de longitud (o en microhenrios).
C = capacidad en faradios por unidad de longitud (o en microfaradios).

La constante de atenuación (α) es la atenuación de la línea por unidad de longitud. Se mide en nepers pero se puede convertir a decibeles multiplicando el valor en nepers por 8,7. La constante de atenuación de una línea sin atenuación es:

$$\alpha = \frac{R}{Z_o} \text{ nepers/unid. de longitud} = \frac{8{,}7\ R}{Z_o} \text{ db/unid. de longitud}$$

La constante de fase β de una línea sin distorsión es:

$$\beta = \omega\sqrt{LC} = 2\pi f\sqrt{LC} \text{ (radianes/unid. de longitud)}$$

donde ω = velocidad angular = 2π frecuencia.

La constante de propagación (γ) es:

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

$$\gamma = \frac{1}{Z_0}(R + j\omega L) \text{ o magnitud de } \gamma = \frac{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}{Z_0}$$

Impedancia característica

En la Tabla Nº 18 se han tabulado las impedancias características de los tipos más comunes de líneas de transmisión referidos a las ilustraciones de la Fig. 70.

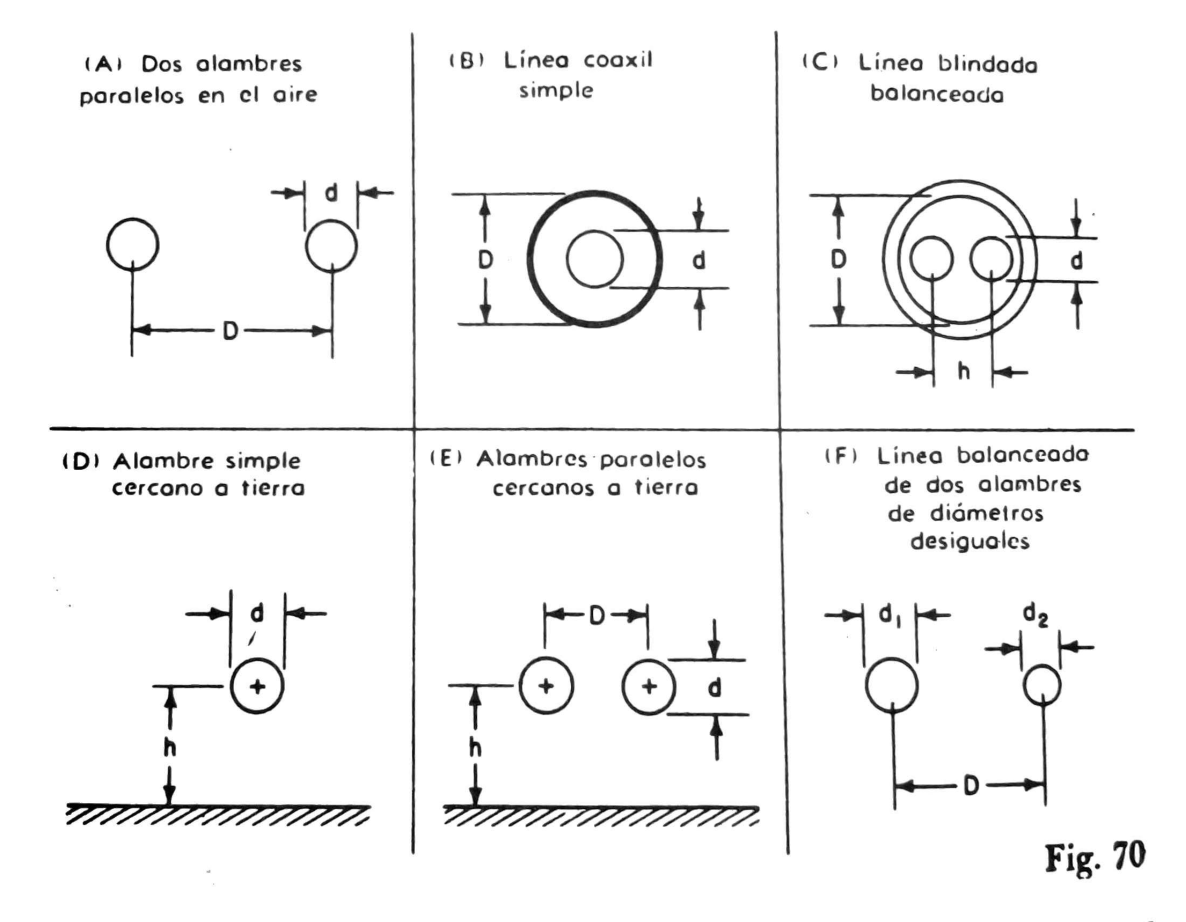


Fig. 70

Para una impedancia característica determinada, la inductancia y la capacidad, por unidad de longitud, se pueden determinar por medio de las siguientes fórmulas:

$$L = 1{,}016\, Z_0 \sqrt{\epsilon} \times 10^{-3} \text{ microhenrios/pie}$$

$$= 1/3\, Z_0 \sqrt{\epsilon} \times 10^{-4} \text{ microhenrios/centímetro}$$

$$C = 1{,}016 \frac{\sqrt{\epsilon}}{Z_0} \times 10^{-3} \text{ microfaradios/pie}$$

$$C = \frac{\sqrt{\epsilon}}{3 Z_0} \times 10^{-4} \text{ microfaradios/centímetro}$$

donde Z_0 = impedancia característica de la línea
ε = constante dieléctrica del medio = 1 para aire.

TABLA Nº 18 - IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Tipo de línea de transmis.	*Impedancia característica (ohms)*
Dos alambres paralelos	$Z_0 = 276 \log_{10} \frac{2D}{d}$
Línea coaxil simple	$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \log_{10} \frac{D}{d}$ **donde ε = const dieléctr. = 1 en aire**
Línea blindada balanceada	**Para** $D >> d$ y $h >> d$, $Z_0 = \frac{276}{\sqrt{\epsilon}} \log_{10} \left[\frac{2h}{d} \times \frac{1 - (h/D)^2}{1 + (h/D)^2} \right]$ **ε = constante dieléctrica = 1 en aire**
Un solo alambre cerca de tierra	**Para** $d << h$, $Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \log_{10} \frac{4h}{d}$ **ε = constante dieléctrica = 1 en aire**
Alambres paralelos cerca de tierra	**Para** $d << D$ y $d << h$ $Z_0 = \frac{69}{\sqrt{\epsilon}} \log_{10} \left[\frac{4h}{d} \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{D}\right)^2} \right]$ **ε = constante dieléctrica = 1 en aire**
Línea balanceada de 2 alambres de diámetros desiguales (d_1 y d_2)	**Para** $d_1, d_2 << D$ $Z_0 = \frac{276}{\sqrt{\epsilon}} \log_{10} \frac{2D}{\sqrt{d_1 d_2}}$ **ε = constante dieléctrica = 1 en aire**

Adaptación de impedancias y resonancia

El valor de la impedancia de carga conectado en el extremo más alejado (salida) de la línea determina si ésta trabaja como una línea resonante o no. Si la impedancia de carga (Z_L) es una resistencia pura, igual a la impedancia característica (Z_o), la línea no es resonante. Si la impedancia de carga no es igual a Z_o se produce resonancia. Un voltaje de alta frecuencia sobre una línea de transmisión no resonante se traslada por ésta hacia la carga, aproximadamente a la velocidad de la luz. Puesto que la línea es una resistencia pura la corriente está siempre en fase con el voltaje y no se producen reflexiones.

En una línea de transmisión resonante ($Z_L = Z_o$) las ondas de voltaje y corriente también se desplazan hacia la carga, pero serán reflejadas en el extremo de ésta, y estas ondas reflejadas retrocederán en dirección opuesta hacia el generador. Las ondas directas y reflejadas se combinan en determinado punto de la línea para producir combinaciones complejas de ondas estacionarias. La impedancia en el extremo del generador, llamada impedancia de entrada ($Z_{ent.}$), depende entonces de la impedancia de carga y de la longitud de la línea. En una línea cuya longitud física es un cuarto de longitud de onda la impedancia de entrada es:

$$Z_{en} = \frac{Z_o^2}{Z_L}$$

o, en forma equivalente, la impedancia característica de una línea de un cuarto de longitud de onda es

$$Z_o = \sqrt{Z_{en} Z_L}$$

Una línea de ¼ de longitud de onda puede usarse como un adaptador de impedancias, comportándose en forma similar a un transformador. Para adaptar dos líneas de transmisión de diferentes impedancias características, por ejemplo, sólo es necesario conectar una sección adaptadora de un cuarto de longitud de onda entre las líneas, de modo tal que la impedancia característica de la sección adaptadora sea igual a la raíz cuadrada del producto de las impedancias de ambas líneas.

Longitud de la sección de un cuarto de longitud de onda

La longitud de onda (λ_o) de una onda electromagnética en el espacio libre es igual a la velocidad de la luz (c) dividida por la frecuencia (f) de la misma:

$$\lambda_o = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f} \text{ metros} = \frac{984 \times 10^6}{\text{frecuencia}} \text{ (pies)}$$

donde f es la frecuencia en c/s. Si f se expresa en megaciclos:

$$\lambda_o = \frac{984}{f\ (mc)} \text{ pies} = \frac{3 \times 10^2}{f\ (Mc)} \text{ metros}$$

La velocidad de una onda que se desplaza a lo largo de una línea de transmisión colocada en un dieléctrico uniforme, de constante dieléctrica ε, se reduce respecto al espacio libre en un factor $1/\sqrt{\varepsilon}$. Debido a esta reducción de la velocidad la longitud de onda a lo largo de la línea se reduce en el mismo factor, es decir que la longitud de onda a lo largo de la línea es:

$$\lambda = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\varepsilon}} = \frac{3 \times 10^2}{\sqrt{\varepsilon}\, f_{mc}} \text{ metros} = \frac{984}{\sqrt{\varepsilon}\, f_{mc}} \text{ pies}$$

Para determinada línea de longitud física L (en metros) la longitud de la línea, en longitudes de onda, es:

$$\frac{L}{\lambda} = \frac{L\sqrt{\varepsilon}\, f_{mc}}{3 \times 10^2} \text{ (longitud de onda)}$$

donde f = frecuencia, en megaciclos
L = longitud de la línea, en metros.

La longitud eléctrica o ángulo de línea (en grados) está dada por

$$\theta = \frac{360\, L}{\lambda} = 1{,}2\, L \sqrt{\varepsilon}\, f_{mc} \text{ (grados)}$$

donde f = frecuencia, en megaciclos
L = longitud de la línea, en metros.

La longitud de una sección adaptadora de un cuarto de onda es:

$$L_{1/4} = \frac{75}{\sqrt{\varepsilon}\, f_{mc}} \text{ metros}$$

CAPÍTULO 12

ANTENAS

La antena es un sistema de conductores que irradian o reciben energía electromagnética. En términos generales, las propiedades que hacen de una antena un buen irradiador de ondas también hacen de ella una buena antena receptora. Las propiedades prácticas más importantes de una antena son:

a) Impedancia (en un punto especificado de la antena);
b) Longitud física;
c) Direccionalidad o diagrama de radiación.

Una antena puede considerarse como una línea de transmisión de ¼, ½ ó 1 longitud de onda de largo, dependiendo de la configuración empleada.

En resonancia, la antena puede ser reemplazada por una resistencia equivalente cuyo valor sea igual a

$$\text{resistencia equivalente de la antena} = R_a = \frac{P_a}{I^2_{eff}}$$

donde P_a = potencia total de RF aplicada a la antena
I_{ef} = valor efectivo de la corriente en un punto de máxima corriente.

La resistencia equivalente de la antena está formada por la resistencia de radiación (R_r) y la resistencia de pérdidas (R_o).

$$R_a = R_r + R_o.$$

La resistencia de radiación de una antena es:

$$R_r = \frac{P_r}{I^2_{eff}}$$

donde P_r = potencia irradiada
I_{ef} = corriente efectiva en el punto de máxima corriente.

La longitud física de una antena depende del tipo de la misma. La

longitud física de la antena es algo más corta que la longitud de onda en el espacio, dependiendo del diámetro del conductor y del efecto terminal debido a la capacidad de los aisladores de soporte.

La longitud aproximada de una antena de un cuarto de onda es:

$$\text{longitud (metros)} = \frac{\lambda}{4} = \frac{C}{4f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}{4 \times \text{frecuencia (c/s)}}$$

En forma similar, la longitud de una antena de media longitud de onda es, aproximadamente:

$$\text{longitud (metros)} = \frac{\lambda}{2} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/seg}}{2 \times \text{frecuencia (c/s)}}$$

Antena de media longitud de onda

La mayoría de los sistemas de antena están basados en la antena de Hertz o dipolo de media onda cuya longitud física es aproximadamente igual a la mitad de la longitud de onda transmitida, y que está alimentada en los puntos centrales.

La resistencia de antena de un sistema horizontal muy fino, de media onda, es aproximadamente igual a 73 ohms, pero varía considerablemente con la altura de la antena (en longitudes de onda) por encima de tierra. Para obtener una buena adaptación las antenas de media onda se alimentan generalmente en el centro, por medio de una línea de transmisión de 75 ohms. La impedancia de una antena de media onda está dada aproximadamente por

$$Z_a \approx 276 \log_{10} \frac{1}{P}$$

donde P = periferia de la varilla de antena en longitudes de onda.

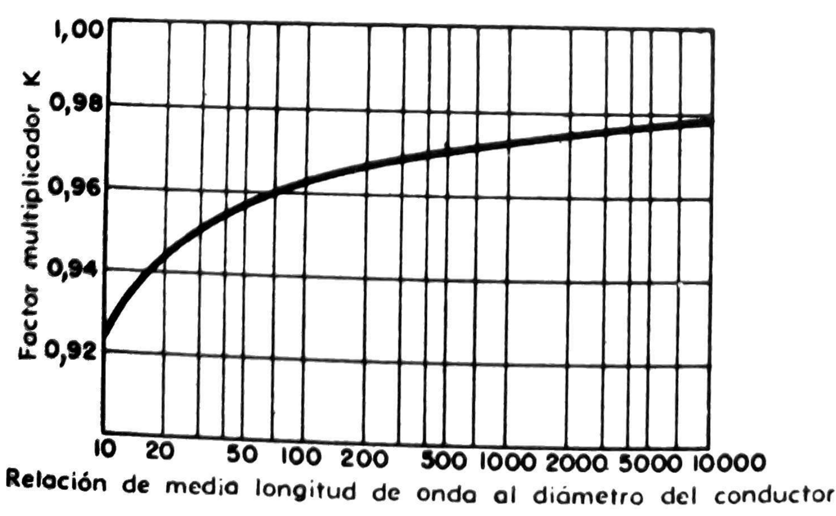


Fig. 71

La longitud física de una antena de media onda, por encima de los 30 Mc/s, es aproximadamente el 5 % menor que la longitud en el espacio libre:

$$\text{longitud de la antena de media onda (metros)} = \frac{285}{2 \times f\,(mc)}$$

La longitud física disminuye al aumentar el diámetro de los conductores de antena. Para aquellas construidas con varillas o tubos y que trabajan por encima de los 30 Mc/s se debe emplear la siguiente fórmula, introduciendo un factor de corrección K, que se indica en el gráfico de la Fig. 71:

$$\text{longitud de la antena de media onda (metros)} = \frac{300 \times K}{2 \times f\,(mc)}$$

Dipolo plegado de media onda

El dipolo plegado de media onda tiene las características de la antena de media onda, pero la resistencia de antena es mayor. El dipolo plegado tiene la misma longitud total y diagrama de radiación que la antena común de media onda y también su resistencia de radiación es la misma (73 ohms). Pero, como la línea de transmisión "ve" solamente la mitad de la corriente en el punto de alimentación, se produce una transformación de impedancia que aumenta la resistencia de la antena (R_a) en un factor 4 para conductores de igual tamaño. Entonces, para un dipolo plegado la resistencia de antena: $R_a = 4 \times 73$ ohms $= 292$ ohms $= 300$ ohms. Una línea de transmisión balanceada de 300 ohms puede usarse para adaptar directamente un dipolo plegado a la entrada de 300 ohms de un televisor o receptor de radio. La impedancia de un dipolo plegado es aproximadamente 0,8 veces la del dipolo simple de media onda cuando el espaciado entre los dipolos componentes es pequeño comparado con la longitud de onda ($1/64\,\lambda$).

Antenas de alambres largos

En vez de ser de media longitud de onda de largo las antenas pueden operar armónicamente en algún múltiplo integral de media longitud de onda, dado que la resonancia se produce para cada número integral de ondas estacionarias a lo largo de la longitud de la antena. La ventaja de las antenas de hilo largo es el aumento de la direccionalidad y la ganancia en la dirección favorecida. En la Fig. 72 se indican los diagramas de corriente, de ondas estacionarias, resistencia de radiación aproximada y resistencia de antena para un número de resonancias en antenas de alambres largos. La frecuencia o relación de longitud N es el número de longitudes de onda sobre la antena y es igual a la relación de la fre-

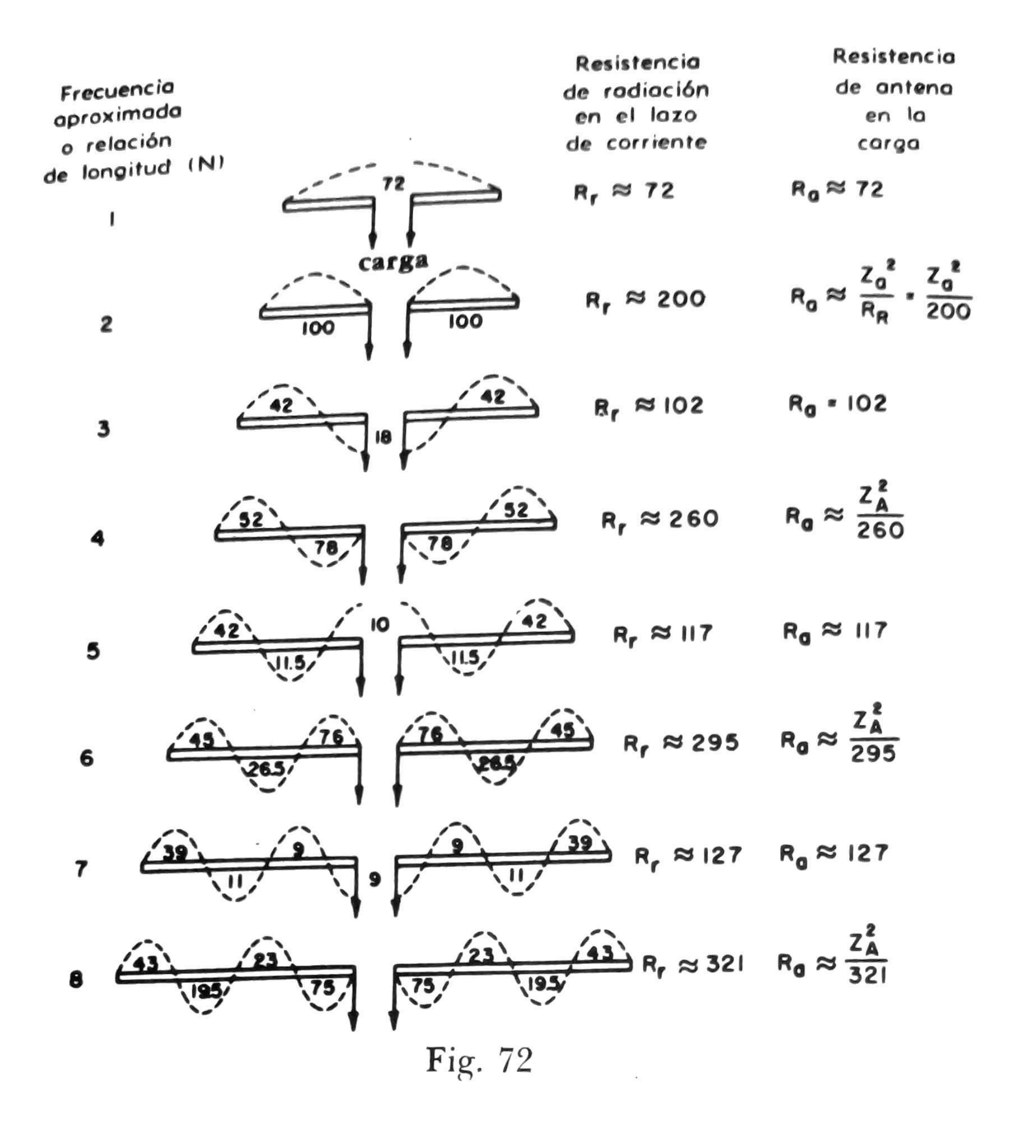


Fig. 72

cuencia de trabajo a la frecuencia para la cual la antena tiene una longitud de media onda.

La longitud física de una antena de alambre largo es:

$$\text{longitud (metros)} = \frac{150\ (N - 0{,}05)}{f\ (mc)}$$

donde N = relación de frecuencia = número de medias ondas sobre la antena.

Para N impar la resistencia de radiación es igual a la resistencia de antena, y ambas están dadas aproximadamente por:

$$R_a = R_r = 69 \log_{10} 10N$$

Para N par la resistencia de radiación es:

$$R_r \approx 200 \log_{10} 5N$$

y la resistencia de antena: $R_a = \dfrac{Z_a^2}{R_r}$

siendo Z_a = impedancia media de la antena.

TABLA Nº 19 - TABLA DE TIPOS DE ANTENA

Tipo de antena	*Descripción*	*Aplicación*
Antenas con reflector parabólico	Es un irradiador colocado en el foco de una parábola, la cual es una superficie reflectora. Según sea la forma de la parábola, así serán los haces producidos	Para radar y microondas
Reflectores de cuadrado de cosecante	Es un reflector ideado para originar un haz principal, en el que la energía de la señal es proporcional al cuadrado de la cosecante del ángulo formado por la horizontal y la línea del blanco	Para localización de objetos por medio de sistemas de radar aerotransportados
Antenas de bocina	Formadas por una guía de onda con su boca ensanchada, con forma de bocina o de embudo. La bocina suele irradiar dentro de un reflector para suministrar la forma del haz requerido	Muy extendidas en aplicaciones de radar
Antena alimentada por un extremo	Irradiador de media longitud de onda, alimentado por un extremo por una línea de transmisión abierta con resonancia	Para recibir y transmitir en la banda de 1,6 a 30 Mc/s. La mayoría se utilizan en trabajos multibandas, donde el espacio es limitado. Se emplean en instalaciones de estaciones fijas

TABLA DE TIPOS DE ANTENA - Continuación

Tipo de antena	*Descripción*	*Aplicación*
Antena con alimentación central (dipolo sintonizado o Zepp con alimentación central)	Dipolo de media onda con alimentación central, que suele utilizar alimentadores separados. La corriente proviene de la fundamental y la tensión de los armónicos pares	Para recibir y transmitir en la banda de 1,6 a 30 Mc/s. Se puede utilizar en cualquier frecuencia si el sistema, considerado como un elemento, se puede sintonizar a esa frecuencia
Antena Fuchs	Irradiador alimentado por tensión con un conductor de hilo cuya longitud es un número par de cuartos de longitud de onda. Un extremo del irradiador se conecta directamente al transmisor o unidad sintonizada sin usar una línea de transmisión	Para transmitir y recibir a cualquier frecuencia donde se desee simplicidad
Reflector de esquina	Irradiador de media onda con dos láminas de metal o pantallas grandes, dispuestas para que sus superficies formen un ángulo cuyo vértice esté situado detrás del irradiador	Se utiliza en las bandas de VHF y UHF, para suministrar directividad en el plano que bisecta el ángulo formado por el reflector
Marconi	Irradiador vertical de longitud aproximada a un cuarto de longitud de onda de la frecuencia de operación. Un extremo está a tierra o trabaja contra ella. Se puede alimentar en o cerca de la base con una línea de transmisión. La longitud eléctrica puede aumentarse utilizando una bobina de carga en serie con la base o próxima al centro del irradiador, o bien utilizando	Se utiliza con profusión para la recepción y transmisión en bajas y medias frecuencias, donde se desee polarización vertical

TABLA DE TIPOS DE ANTENA - Continuación

Tipo de antena	*Descripción*	*Aplicación*
	una carga capacitiva en la parte superior	
Antena parásita	Formada por un irradiador con un reflector situado en su parte posterior, y con uno o más directores delante. Produce una radiación unidireccional principal. La polarización puede ser vertical u horizontal	Utilizada para desarrollar alta ganancia en una dirección con poca o ninguna radiación o captación en otras direcciones. Se emplea en todas las frecuencias donde se requieran estas características y exista espacio disponible
Antena rómbica	Sistema formado por cuatro irradiadores dispuestos en rombo y alimentados por un extremo. Si el vértice opuesto al de alimentación es abierto la respuesta es bidireccional, en una línea que pasa por esos dos vértices. Si el extremo abierto se cierra con la resistencia propia, la respuesta es unidireccional en la dirección del vértice cerrado. La ganancia puede variar entre 20 y 40 veces la de un dipolo, dependiendo del número de longitudes de onda en cada rama	Se utiliza con profusión donde se requiera alta ganancia y directividad. Se puede emplear en un amplio campo de frecuencias, siendo particularmente útil cuando cada rama tiene de largo dos o más longitudes de onda de la frecuencia más baja. El ángulo de radiación disminuye y la directividad vertical se estrecha al aumentar la longitud de las ramas o al aumentar la frecuencia de trabajo
J vertical	Irradiador vertical de media longitud de onda, alimentado en su base por medio de un conductor adaptador de un cuarto de onda. Es omnidireccional, proporciona polarización vertical y se puede	Apropiada para utilizarla a frecuencias superiores a los 7 Mc/s. Se emplea normalmente en frecuencias fijas debido a su extrema sensibilidad a las varia-

TABLA DE TIPOS DE ANTENA - Continuación

Tipo de antena	*Descripción*	*Aplicación*
	alimentar convenientemente desde un amplio campo de impedancias de líneas de transmisión	ciones de frecuencia. Su rendimiento disminuye cuando la frecuencia aumenta
Antena coaxil (antena de manguito)	Irradiador vertical de media longitud de onda. La mitad superior es un irradiador relativamente pequeño, mientras que la inferior es un cilindro de gran diámetro. La alimentación es central por medio de un cable coaxil de 70 a 120 ohms	Práctica para frecuencias superiores a los 7 Mc/s. Se puede utilizar en frecuencias prefijadas. Las variaciones de frecuencia obligan a volver a sintonizar la antena, variando la longitud de ambas mitades del irradiador. Adecuada para trabajos en hasta 100 Mc/s
Antena con polarización horizontal	Irradiador vertical de un cuarto de onda, omnidireccional, montado sobre una superficie reflectora horizontal. Su impedancia suele ser de unos 36 ohms máxima	Adecuada para producir ondas polarizadas verticalmente a frecuencias superiores a los 7 Mc/s. Se suele emplear en frecuencias de unos 300 Mc/s

CAPÍTULO 13

FÓRMULAS Y TABLAS MATEMÁTICAS

TABLA Nº 20 - SÍMBOLOS MATEMÁTICOS

$\times$ o $\cdot$	Multiplicado por
$\div$ o $:$	Dividido por
$+$	Positivo. Signo más. Suma
$-$	Negativo. Signo menos.
$\pm$	Positivo o negativo. Más o menos
$\mp$	Negativo o positivo. Menos o más
$=$ o $::$	Iguales
$\equiv$	Identidad
$\cong$	Aproximadamente iguales
$\neq$	Distinto de
$>$	Mayor que
$\gg$	Mucho mayor que
$<$	Menor que
$\ll$	Mucho menor que
$\geqq$	Mayor o igual que
$\leqq$	Menor o igual que
$\therefore$	Por tanto
$\angle$	Angulo
$\angle s$	Angulos
Δ	Variación. Incremento o decrecimiento
$\perp$	Perpendicular a
$\parallel$	Paralelo a
$\lvert n \rvert$	Valor absoluto de n

Fórmulas algebraicas

a) Factoreo:

$$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$$
$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$$
$$(a \pm b)^4 = a^4 \pm 4a^3b + 6a^2b^2 \pm 4ab^3 + b^4$$
$$a^2 - b^2 = (a - b)\,(a + b)$$
$$a^2 + b^2 = (a + b\sqrt{-1})\,(a - b\sqrt{-1})$$
$$a^3 - b^3 = (a - b)\,(a^2 + ab + b^2)$$
$$a^3 + b^3 = (a + b)\,(a^2 - ab + b^2)$$
$$a^4 + b^4 = (a^2 + ab\sqrt{2} + b^2)\,(a^2 - ab\sqrt{2} + b^2)$$
$$a^n - b^n = (a - b)\,(a^{n-1} + a^{n-2}b + \dots + b^{n-1})$$

$a^n - b^n = (a + b)\ (a^{n-1} + a^{n-2}b + \ldots + b^{n-1})$
para n par.
$a^n - b^n = (a + b)\ (a^{n-1} + a^{n-2}b + \ldots + b^{n-1})$
para n impar.
$a^4 + a^2b^2 + b^4 = (a^2 + ab + b^2)\ (a^2 - ab + b^2)$
$(a + b + c)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + 2ab + 2ac + 2bc$
$(a + b + c)^3 = a^3 + b^3 + c^3 + 3a^2(b + c) + 3b^2$
$(a + c) + 3c^2\ (a + b) + 6abc$

b) Potencias y raíces:

$a^x . a^y = a^{(x+y)}$ $a = 1$ (si $a \neq 0$) $(ab)^x = a^x b^x$

$\frac{a^x}{a^y} = a^{(x-y)}$ $a^{-x} = 1/a^x$ $(a/b)^x = a^x/b^x$

$(a^x)^y = a^{xy}$ $a^{1/x} = \sqrt[x]{a}$ $\sqrt[x]{ab} = \sqrt[x]{a}\sqrt[x]{b}$

$\sqrt[x]{\sqrt[y]{a}} = \sqrt[xy]{a}$ $a^{x/y} = \sqrt[y]{a^x}$ $\sqrt[x]{a/b} = \frac{\sqrt[x]{a}}{\sqrt[x]{b}}$

c) Proporciones:

$$\text{Si } \frac{a}{b} = \frac{c}{d} \text{ entonces } \frac{a+b}{b} = \frac{c+d}{d}.$$

$$\frac{b}{b} = \frac{d}{d};\ \frac{a+b}{a+b} = \frac{c+d}{c+d};\ \frac{a-b}{a-b} = \frac{c-d}{c-d}$$

d) Progresiones aritméticas:

Si a es el primer término; l el último término; d, la diferencia común; n, el número de términos, y s la suma de términos:

$$l = a + (n - 1)\ d \qquad s = \frac{n}{2}\ (a + l)$$

$$s = \frac{n}{2}\ 2a + (n - 1)\ d$$

e) Progresiones geométricas:

Si a es el primer término; l, el último término; r, la razón común; n, el número de términos, y s la suma de n términos:

$$l = ar^{n-1} \qquad s = a\frac{(1-r^n)}{(1-r)}$$

$$s = a\frac{(r^n-1)}{r-1} \qquad s = \frac{lr-a}{r-1}$$

Si n es infinito y r^2 menor que la unidad:

$$s = \frac{a}{1-r}$$

f) Ecuaciones cuadradas:

Cualquier ecuación cuadrática puede reducirse a la forma

$$ax^2 + bx + c = 0$$

La solución de esta ecuación es:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Si $b^2 - 4ac$ es positivo, las raíces serán reales y distintas.
Si $b^2 - 4ac$ es cero, las raíces serán reales e iguales.
Si $b^2 - 4ac$ es negativo, las raíces serán imaginarias y distintas.
Si $b^2 - 4ac$ es un cuadrado perfecto, las raíces serán racionales y distintas.

Fórmulas trigonométricas

a) Signos y límites de las funciones trigonométricas:

Función	Cuadrante I		Cuadr. II		Cuadr. III		Cuadr. IV	
	Signo	Valor	Signo	Valor	Signo	Valor	Signo	Valor
Seno	+	0 a 1	+	1 a 0	—	0 a 1	—	1 a 0
Coseno	+	1 a 0	—	0 a 1	—	1 a 0	+	0 a 1
tangente	+	0 a ∞	—	∞ a 0	+	0 a ∞	—	∞ a 0
cotangente	+	∞ a 0	—	0 a ∞	+	∞ a 0	—	0 a ∞
secante	+	1 a ∞	—	∞ a 1	—	1 a ∞	+	∞ a 1
cosecante	+	∞ a 1	+	1 a ∞	—	∞ a 1	—	1 a ∞

b) Valor de las funciones de ángulos notables:

	0°	30°	45°	60°	90°	180°	270°
Seno	0	1/2	$1/2\sqrt{2}$	$1/2\sqrt{3}$	1	0	-1
Coseno	1	$1/2\sqrt{3}$	$1/2\sqrt{2}$	1/2	0	-1	0
Tangente	0	$1/3\sqrt{3}$	1	$\sqrt{3}$	∞	0	∞
Cotangente	∞	$\sqrt{3}$	1	$1/3\sqrt{3}$	0	∞	0

c) Relaciones entre las funciones de un mismo ángulo:

$$\text{sen } x = \frac{1}{\text{cosec } x} \qquad \text{tang } x = \frac{1}{\text{cot } x} = \frac{\text{sen } x}{\text{cos } x}$$

$$\text{cos } x = \frac{1}{\text{sec } x} \qquad \text{cot } x = \frac{1}{\text{tang } x} = \frac{\text{cos } x}{\text{sen } x}$$

$$\text{cosec } x = \frac{1}{\text{seno } x}$$

$$\text{sec } x = \frac{1}{\cos x}$$

$$\text{sen}^2 x + \cos^2 x = 1$$

$$1 + \text{tang}^2 x = \sec^2 x$$

$$1 + \cot^2 x = \text{cosec}^2 x$$

$$\text{sen } x = \sqrt{1 - \cos^2 x}$$

$$\text{tang } x = \sqrt{\sec^2 x - 1}$$

$$\text{cotg } x = \sqrt{\text{cosec}^2 x - 1}$$

$$\cos x = \sqrt{1 - \text{sen}^2 x}$$

$$\sec x = \sqrt{\text{tang}^2 x + 1}$$

$$\text{cosec } x = \sqrt{\text{cotg}^2 x + 1}$$

$$\text{sen } x = \cos (90° - x) = \text{sen } (180° - x)$$

$$\cos x = \text{sen } (90° - x) = - \cos (180° - x)$$

$$\text{tang } x = \text{cotg } (90° - x) = - \text{tang } (180° - x)$$

$$\text{cotg } x = \text{tang } (90° - x) = - \text{cotg } (180° - x)$$

$$\text{cosec } x = \text{cotg } \frac{x}{2} - \text{cotg } x$$

TABLA Nº 21 - VALORES NATURALES DE LAS FUNCIONES TRIGONOMÉTRICAS de 10′ en 10′

Angulos Grados	Min.	Seno	Tangente	Cotangente	Coseno	Ángulos Grados	Min.
0°	0′	0,00000	0,00000	+ ∞	1,00000	90°	0′
	10′	0,00291	0,00291	343,77371	1,00000		50′
	20′	0,00582	0,00582	171,88540	0,99998		40′
	30′	0,00873	0,00873	114,58865	0,99996		30′
	40′	0,01164	0,01164	85,93979	0,99993		20′
	50′	0,01454	0,01455	68,75009	0,99989		10′
1°	00′	0,01745	0,01746	57,28996	0,99985	89°	00′
	10′	0,02036	0,02037	49,10388	0,99979		50′
	20′	0,02327	0,02328	42,96408	0,99973		40′
	30′	0,02618	0,02619	38,18846	0,99966		30′
	40′	0,02908	0,02910	34,36777	0,99958		20′
	50′	0,03199	0,03201	31,24158	0,99949		10′
2°	00′	0,03490	0,03492	28,63625	0,99939	88°	00′
	10′	0,03781	0,03783	26,43160	0,99929		50′
	20′	0,04071	0,04075	24,54176	0,99917		40′
	30′	0,04362	0,04366	22,90377	0,99905		30′
	40′	0,04653	0,04658	21,47040	0,99892		20′
	50′	0,04943	0,04949	20,20555	0,99878		10′
3°	00′	0,05234	0,05241	19,08114	0,99863	87°	00′
	10′	0,05524	0,05533	18,07498	0,99847		50′
	20′	0,05814	0,05824	17,16934	0,99831		40′
	30′	0,06105	0,06116	16,34896	0,99813		30′
	40′	0,06395	0,06408	15,60478	0,99795		20′
	50′	0,06685	0,06700	14,92442	0,99776		10′
4°	00′	0,06976	0,06993	14,30067	0,99756	86°	00′
	10′	0,07266	0,07285	13,72674	0,99736		50′
	20′	0,07556	0,07578	13,19688	0,99714		40′
	30′	0,07846	0,07870	12,70621	0,99692		30′
	40′	0,08136	0,08163	12,25051	0,99668		20′
	50′	0,08426	0,08456	11,82617	0,99644		10′
5°	00′	0,08716	0,08749	11,43005	0,99619	85°	00′
	10′	0,09005	0,09042	11,05943	0,99594		50′
	20′	0,09295	0,09335	10,71191	0,99567		40′
	30′	0,09585	0,09629	10,38540	0,99540		30′
	40′	0,09874	0,09923	10,07803	0,99511		20′
	50′	0,10164	0,10216	9,78817	0,99482		10′
6°	00′	0,10453	0,10510	9,51436	0,99452	84°	00′
	10′	0,10742	0,10805	9,25530	0,99421		50′
	20′	0,11031	0,11099	9,00983	0,99390		40′
	30′	0,11320	0,11394	8,77689	0,99357		30′
	40′	0,11609	0,11688	8,55555	0,99324		20′
	50′	0,11898	0,11983	8,34496	0,99290		10′
7°	00′	0,12187	0,12278	8,14435	0,99255	83°	00′
	10′	0,12476	0,12574	7,95302	0,99219		50′
	20′	0,12764	0,12869	7,77035	0,99182		40′
	30′	0,13053	0,13165	7,59575	0,99144		30′
	40′	0,13341	0,13461	7,42871	0,99106		20′
	50′	0,13629	0,13758	7,26873	0,99067		10′
8°	00′	0,13917	0,14054	7,11537	0,99027	82°	00′
	10′	0,14205	0,14351	6,96823	0,98986		50′
	20′	0,14493	0,14648	6,82694	0,98944		40′
	30′	0,14781	0,14945	6,69116	0,98902		30′
	40′	0,15069	0,15243	6,56055	0,98858		20′
	50′	0,15356	0,15540	6,43484	0,98814		10′
Angulos Grados	Min.	Coseno	Cotangente	Tangente	Seno	Angulos Grados	Min

Angulos Grados	Min.	Seno	Tangente	Cotangente	Coseno	Angulos Grados	Min.
9°	00′	0,15643	0,15838	6,31375	0,98769	81°	00′
	10′	0,15931	0,16137	6,19703	0,98723		50′
	20′	0,16218	0,16435	6,08444	0,98676		40′
	30′	0,16505	0,16734	5,97576	0,98629		30′
	40′	0,16792	0,17033	5,87080	0,98580		20′
	50′	0,17078	0,17333	5,76937	0,98531		10′
10°	00′	0,17365	0,17633	5,67128	0,98481	80°	00′
	10′	0,17651	0,17933	5,57638	0,98430		50′
	20′	0,17937	0,18233	5,48451	0,98378		40′
	30′	0,18224	0,18534	5,39552	0,98325		30′
	40′	0,18509	0,18835	5,30928	0,98272		20′
	50′	0,18795	0,19136	5,22566	0,98218		10′
11°	00′	0,19081	0,19438	5,14455	0,98163	79°	00′
	10′	0,19366	0,19740	5,06584	0,98107		50′
	20′	0,19652	0,20042	4,98940	0,98050		40′
	30′	0,19937	0,20345	4,91516	0,97992		30′
	40′	0,20222	0,20648	4,84300	0,97934		20′
	50′	0,20507	0,20952	4,77286	0,97875		10′
12°	00′	0,20791	0,21256	4,70463	0,97815	78°	00′
	10′	0,21076	0,21560	4,63825	0,97754		50′
	20′	0,21360	0,21864	4,57363	0,97692		40′
	30′	0,21644	0,22169	4,51071	0,97630		30′
	40′	0,21928	0,22475	4,44942	0,97566		20′
	50′	0,22212	0,22781	4,38969	0,97502		10′
13°	00′	0,22495	0,23087	4,33148	0,97437	77°	00′
	10′	0,22778	0,23393	4,27471	0,97371		50′
	20′	0,23062	0,23700	4,21933	0,97304		40′
	30′	0,23345	0,24008	4,16530	0,97237		30′
	40′	0,23627	0,24316	4,11256	0,97169		20′
	50′	0,23910	0,24624	4,06107	0,97100		10′
14°	00′	0,24192	0,24933	4,01078	0,97030	76°	00′
	10′	0,24474	0,25242	3,96165	0,96959		50′
	20′	0,24756	0,25552	3,91364	0,96887		40′
	30′	0,25038	0,25862	3,86671	0,96815		30′
	40′	0,25320	0,26172	3,82083	0,96742		20′
	50′	0,25601	0,26483	3,77595	0,96667		10′
15°	00′	0,25882	0,26795	3,73205	0,96593	75°	00′
	10′	0,26163	0,27107	3,68909	0,96517		50′
	20′	0,26443	0,27419	3,64705	0,96440		40′
	30′	0,26724	0,27732	3,60588	0,96363		30′
	40′	0,27004	0,28046	3,56557	0,96285		20′
	50′	0,27284	0,28360	3,52609	0,96206		10′
16°	00′	0,27564	0,28675	3,48741	0,96126	74°	00′
	10′	0,27843	0,28990	3,44951	0,96046		50′
	20′	0,28123	0,29305	3,41236	0,95964		40′
	30′	0,28402	0,29621	3,37594	0,95882		30′
	40′	0,28680	0,29938	3,34023	0,95799		20′
	50′	0,28959	0,30255	3,30521	0,95715		10′
17°	00′	0,29237	0,30573	3,27085	0,95630	73°	00′
	10′	0,29515	0,30891	3,23714	0,95545		50′
	20′	0,29793	0,31210	3,20406	0,95459		40′
	30′	0,30071	0,31530	3,17159	0,95372		30′
	40′	0,30348	0,31850	3,13972	0,95284		20′
	50′	0,30625	0,32171	3,10842	0,95195		10′
Angulos Grados	Min.	Coseno	Cotangente	Tangente	Seno	Angulos Grados	Min.

Angulos		Seno	Tangente	Cotangente	Coseno	Ángulos	
Grados	Min.					Grados	Min.
18°	00′	0,30902	0,32492	3,07768	0,95106	72°	00′
	10′	0,31178	0,32814	3,04749	0,95015		50′
	20′	0,31454	0,33136	3,01783	0,94924		40′
	30′	0,31730	0,33460	2,98869	0,94832		30′
	40′	0,32006	0,33783	2,96004	0,94740		20′
	50′	0,32282	0,34108	2,93189	0,94646		10′
19°	00′	0,32557	0,34433	2,90421	0,94552	71°	00′
	10′	0,32832	0,34758	2,87700	0,94457		50′
	20′	0,33106	0,35085	2,85023	0,94361		40′
	30′	0,33381	0,35412	2,82391	0,94264		30′
	40′	0,33655	0,35740	2,79802	0,94167		20′
	50′	0,33929	0,36068	2,77254	0,94068		10′
20°	00′	0,34202	0,36397	2,74748	0,93969	70°	00′
	10′	0,34475	0,36727	2,72281	0,93869		50′
	20′	0,34748	0,37057	2,69853	0,93769		40′
	30′	0,35021	0,37388	2,67462	0,93667		30′
	40′	0,35293	0,37720	2,65109	0,93565		20′
	50′	0,35565	0,38053	2,62791	0,93462		10′
21°	00′	0,35853	0,38386	2,60509	0,93358	69°	00′
	10′	0,36108	0,38721	2,58261	0,93253		50′
	20′	0,36379	0,39055	2,56046	0,93148		40′
	30′	0,36650	0,39391	2,53865	0,93042		30′
	40′	0,36921	0,39727	2,51715	0,92935		20′
	50′	0,37191	0,40065	2,49597	0,92827		10′
22°	00′	0,37461	0,40403	2,47509	0,92718	68°	00′
	10′	0,37730	0,40741	2,45451	0,92609		50′
	20′	0,37999	0,41081	2,43422	0,92499		40′
	30′	0,38268	0,41421	2,41421	0,92388		30′
	40′	0,38537	0,41763	2,39449	0,92276		20′
	50′	0,38805	0,42192	2,37504	0,92164		10′
23°	00′	0,39073	0,42447	2,35585	0,92050	67°	00′
	10′	0,39341	0,42791	2,33693	0,91936		50′
	20′	0,39608	0,43136	2,31826	0,91822		40′
	30′	0,39875	0,43481	2,29984	0,91706		30′
	40′	0,40142	0,43828	2,28167	0,91590		20′
	50′	0,40408	0,44175	2,26374	0,91472		10′
24°	00′	0,40674	0,44523	2,24604	0,91535	66°	00′
	10′	0,40939	0,44872	2,22857	0,91236		50′
	20′	0,41204	0,45222	2,21132	0,91116		40′
	30′	0,41469	0,45573	2,19430	0,90996		30′
	40′	0,41734	0,45924	2,17749	0,90875		20′
	50′	0,41998	0,46277	2,16090	0,90753		10′
25°	00′	0,42262	0,46631	2,14451	0,90631	65°	00′
	10′	0,42525	0,46985	2,12832	0,90507		50′
	20′	0,42788	0,47341	2,11233	0,90383		40′
	30′	0,43051	0,47698	2,09654	0,90259		30′
	40′	0,43313	0,48055	2,08094	0,90133		20′
	50′	0,43575	0,48414	2.06553	0,90007		10′
26°	00′	0,43837	0,48773	2,05030	0,89879	64°	00′
	10′	0,44098	0,49134	2,03526	0,89752		50′
	20′	0,44359	0,49495	2,02039	0,89623		40′
	30′	0,44620	0,49858	2,00569	0,89493		30′
	40′	0,44880	0,50222	1,99116	0,89363		20′
	50′	0,45140	0,50587	1,97680	0,89232		10′
27°	00′	0,45399	0,50953	1,96261	0,89101	63°	00′
	10′	0,45658	0,51320	1,94858	0,88968		50′
	20′	0,45917	0,51688	1,93470	0,88835		40′
	30′	0,46175	0,52057	1,92098	0,88701		30′
	40′	0,46433	0,52427	1,90741	0,88566		20′
	50′	0,46690	0,52798	1,89400	0,88431		10′
Ángulos		Coseno	Cotangente	Tangente	Seno	Ángulos	
Grados	Min.					Grados	Min.

Angulos		**Seno**	**Tangente**	**Cotangente**	**Coseno**	**Angulos**	
Grados	**Min.**					**Grados**	**Min.**
28°	00′	0,46947	0,53171	1,88073	0,88295	62°	00′
	10′	0,41204	0,53545	1,86760	0,88158		50′
	20′	0,47460	0,53920	1,85462	0,88020		40′
	30′	0,47716	0,54296	1,84177	0,87882		30′
	40′	0,47971	0,54673	1,82906	0,87743		20′
	50′	0,48226	0,55051	1,81649	0,87603		10′
29°	00′	0,48481	0,55431	1,80405	0,87462	61°	00′
	10′	0,48735	0,55812	1,79174	0,87321		50′
	20′	0,48989	0,56194	1,77955	0,87178		40′
	30′	0,49242	0,56577	1,76749	0,87036		30′
	40′	0,49495	0,56962	1,75556	0,86892		20′
	50′	0,49748	0,57348	1,74375	0,86748		10′
30°	00′	0,50000	0,57735	1,73205	0,86603	60°	00′
	10′	0,50202	0,58124	1,72047	0,86457		50′
	20′	0,50503	0,58513	1,70901	0,86310		40′
	30′	0,50754	0,58905	1,69766	0,86163		30′
	40′	0,51004	0,59297	1,68643	0,86015		20′
	50′	0,51254	0,59991	1,67530	0,85866		10′
31°	00′	0,51504	0,60086	1,66428	0,85717	59°	00′
	10′	0,51753	0,60483	1,65337	0,85567		50′
	20′	0,52002	0,60881	1,64256	0,85416		40′
	30′	0,52250	0,61280	1,63185	0,85264		30′
	40′	0,52498	0,61681	1,62125	0,85112		20′
	50′	0,52745	0,62083	1,61074	0,84959		10′
32°	00′	0,52992	0,62487	1,60033	0,84805	58°	00′
	10′	0,53238	0,62892	1,59002	0,84650		50′
	20′	0,53484	0,63299	1,57981	0,84495		40′
	30′	0,53730	0,63707	1,56969	0,84339		30′
	40′	0,53975	0,64118	1,55966	0,84182		20′
	50′	0,54220	0,64528	1,54972	0,84025		10′
33°	00′	0,54464	0,64941	1,53987	0,83867	57°	00′
	10′	0,54708	0,65355	1,53010	0,83708		50′
	20′	0,54951	0,65771	1,52043	0,83549		40′
	30′	0,55194	0,66189	1,51084	0,83389		30′
	40′	0,55436	0,66608	1,50133	0,83228		20′
	50′	0,55678	0,67028	1,49190	0,83066		10′
34°	00′	0,55919	0,67451	1,48256	0,82904	56°	00′
	10′	0,56160	0,67875	1,47330	0,82741		50′
	20′	0,56401	0,68301	1,46411	0,82577		40′
	30′	0,56641	0,68728	1,45501	0,82413		30′
	40′	0,56880	0,69157	1,44598	0,82248		20′
	50′	0,54119	0,69588	1,43703	0,82082		10′
35°	00′	0,57358	0,70021	1,42815	0,81915	55°	00′
	10′	0,57596	0,70455	1,41934	0,81748		50′
	20′	0,57833	0,70891	1,41061	0,81580		40′
	30′	0,58070	0,71329	1,40195	0,81412		30′
	40′	0,58307	0,71769	1,39366	0,81242		20′
	50′	0,58543	0,72211	1,38484	0,81072		10′
36°	00′	0,58779	0,72654	1,37638	0,80902	54°	00′
	10′	0,59014	0,73100	1,36800	0,80730		50′
	20′	0,59248	0,73547	1,35968	0,80558		40′
	30′	0,59482	0,73996	1,35142	0,80386		30′
	40′	0,59716	0,74447	1,34323	0,80212		20′
	50′	0,59949	0,74900	1,33511	0,80038		10′
37°	00′	0,60182	0,75355	1,32704	0,79864	53°	00′
	10′	0,60414	0,75812	1,31904	0,79688		50′
	20′	0,60645	0,76272	1,31110	0,79512		40′
	30′	0,60876	0,76733	1,30323	0,79335		30′
	40′	0,61107	0,77196	1,29541	0,79158		20′
	50′	0,61337	0,77661	1,28764	0,78980		10′
Ángulos		**Coseno**	**Cotangente**	**Tangente**	**Seno**	**Ángulos**	
Grados	**Min.**					**Grados**	**Min.**

Ángulos Grados	Min.	Seno	Tangente	Cotangente	Coseno	Ángulos Grados	Min.
38°	00′	0,61566	0,78129	1,27994	0,78801	52°	00′
	10′	0,61795	0,78598	1,27230	0,78622		50′
	20′	0,62024	0,79070	1,26471	0,78442		40′
	30′	0,62251	0,79544	1,25717	0,78261		30′
	40′	0,62479	0,80020	1,24969	0,78079		20′
	50′	0,62706	0,80498	1,24227	0,77897		10′
39°	00′	0,62932	0,80978	1,23490	0,77715	51°	00′
	10′	0,63158	0,81461	1,22758	0,77531		50′
	20′	0,63383	0,81946	1,22031	0,77347		40′
	30′	0,63608	0,82434	1,21310	0,77162		30′
	40′	0,63832	0,82923	1,20593	0,76977		20′
	50′	0,64056	0,83415	1,19882	0,76791		10′
40°	00′	0,64279	0,83910	1,19175	0,76604	50°	00′
	10′	0,64501	0,84407	1,18474	0,76417		50′
	20′	0,64723	0,84906	1,17777	0,76229		40′
	30′	0,64945	0,85408	1,17085	0,76041		30′
	40′	0,65166	0,85912	1,16398	0,75851		20′
	50′	0,65386	0,86419	1,15715	0,75661		10′
41°	00′	0,65606	0,86929	1,15037	0,75471	49°	00′
	10′	0,65825	0,87441	1,14363	0,75280		50′
	20′	0,66044	0,87955	1,13694	0,75088		40′
	30′	0,66262	0,88473	1,13029	0,74896		30′
	40′	0,66480	0,88992	1,12369	0,74703		20′
	50′	0,66697	0,89515	1,11713	0,74509		10′
42°	00′	0,66913	0,90040	1,11061	0,74314	48°	00′
	10′	0,67129	0,90569	1,10414	0,74120		50′
	20′	0,67344	0,91099	1,09770	0,73924		40′
	30′	0,67559	0,91633	1,09131	0,73728		30′
	40′	0,67773	0,92170	1,08496	0,73531		20′
	50′	0,67987	0,92709	1,07864	0,73333		10′
43°	00′	0,68200	0,93252	1,07237	0,73135	47°	00′
	10′	0,68412	0,93797	1,06613	0,72937		50′
	20′	0,68624	0,94345	1,05994	0,72737		40′
	30′	0,68835	0,94896	1,05378	0,72537		30′
	40′	0,69046	0,95451	1,04766	0,72337		20′
	50′	0,69256	0,96008	1,04158	0,72136		10′
44°	00′	0,69426	0,96569	1,03553	0,71934	46°	00′
	10′	0,69675	0,97133	1,02952	0,71732		50′
	20′	0,69883	0,97700	1,02355	0,71529		40′
	30′	0,70091	0,98270	1,01761	0,71325		30′
	40′	0,70298	0,98843	1,01170	0,71121		20′
	50′	0,70505	0,99420	1,00583	0,70916		10′
45°	00′	0,70711	1,00000	1,00000	0,70111	45°	00′
Ángulos Grados	**Min.**	**Coseno**	**Cotangente**	**Tangente**	**Seno**	**Ángulos Grados**	**Min**

TABLA Nº 22 - CUADRADOS, CUBOS, RAÍCES CUADRADAS, RAÍCES CÚBICAS, VALORES RECÍPROCOS, CIRCUNFERENCIA Y ÁREA DE CÍRCULO PARA LOS NÚMEROS DE 1 A 500

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
1	1	1	1,000	1,0000	1000,000	3,142	0,7854
2	4	8	1,414	1,2599	500,000	6,283	3,1416
3	9	27	1,732	1,4422	333,333	9,425	7,0686
4	16	64	2,000	1,5874	250,000	12,566	12,5664
5	25	125	2,236	1,7100	200,000	15,708	19,6350
6	36	216	2,449	1,8171	166,667	18,850	28,2743
7	49	343	2,646	1,9129	142,857	21,991	38,4845
8	64	512	2,828	2,0000	125,000	25,133	50,2655
9	81	729	3,000	2,0801	111,111	28,274	63,6173
10	100	1000	3,162	2,1544	100,000	31,416	78,5398
11	121	1331	3,316	2,2240	90,909	34,558	95,0332
12	144	1728	3,464	2,2894	83,333	37,699	113,097
13	169	2197	3,605	2,3513	76,923	40,841	132,732
14	196	2744	3,741	2,4101	71,428	43,982	153,938
15	225	3375	3,873	2,4662	66,666	47,124	176,715
16	256	4096	4,000	2,5198	62,500	50,265	201,062
17	289	4913	4,123	2,5713	58,823	53,407	226,980
18	324	5832	4,242	2,6207	55,555	56,549	254,469
19	361	6859	4,359	2,6684	52,631	59,690	283,529
20	400	8000	4,472	2,7144	50,000	62,832	314,159
21	441	9261	4,583	2,7589	47,619	65,973	346,361
22	484	10648	4,690	2,8020	45,454	69,115	380,133
23	529	12167	4,796	2,8439	43,478	72,257	415,476
24	576	13824	4,899	2,8845	41,666	75,398	452,389
25	625	15625	5,000	2,9240	40,000	78,540	490,874
26	676	17576	5,099	2,9625	38,461	81,681	530,929
27	729	19683	5,196	3,0000	37,037	84,823	572,555
28	784	21952	5,292	3,0366	35,714	87,965	615,752
29	841	24389	5,385	3,0723	34,482	91,106	660,520
30	900	27000	5,477	3,1072	33,333	94,248	706,858
31	961	29791	5,568	3,1414	32,258	97,389	754,768
32	1024	32768	5,657	3,1748	31,250	100,53	804,248
33	1089	35937	5,745	3,2075	30,303	103,67	855,299
34	1156	39304	5,831	3,2396	29,411	106,81	907,920
35	1225	42875	5,916	3,2711	28,571	109,96	962,113
36	1296	46656	6,000	3,3019	27,777	113,10	1017,88
37	1369	50653	6,083	3,3322	27,027	116,24	1075,21
38	1444	54872	6,164	3,3620	26,315	119,38	1134,11
39	1521	59319	6,244	3,3912	25,641	122,52	1194,59
40	1600	64000	6,325	3,4200	25,000	125,66	1256,64
41	1681	68921	6,403	3,4482	24,390	128,81	1320,25
42	1764	74088	6,481	3,4760	23,809	131,95	1385,44
43	1849	79507	6,557	3,5034	23,255	135,09	1452,20
44	1936	85184	6,633	3,5303	22,727	138,23	1520,53
45	2025	91125	6,708	3,5569	22,222	141,37	1590,43
46	2116	97336	6,782	3,5830	21,739	144,51	1661,90
47	2209	103823	6,856	3,6088	21,276	147,65	1734,94
48	2304	110592	6,928	3,6342	20,833	150,80	1809,56
49	2401	117649	7,000	3,6593	20,408	153,94	1885,74
50	2500	125000	7,0711	3,6840	20,0000	157,08	1963,50
51	2601	132651	7,1414	3,7084	19,6078	160,22	2042,82
52	2704	140608	7,2111	3,7325	19,2308	163,36	2123,72
53	2809	148877	7,2801	3,7563	18,8679	166,50	2206,18
54	2916	157464	7,3485	3,7798	18,5185	169,65	2290,22
55	3025	166375	7,4162	3,8030	18,1818	172,79	2375,83
56	3136	175616	7,4883	3,8259	17,8571	175,93	2463,01
57	3249	185193	7,5498	3,8485	17,5439	179,07	2551,76
58	3364	195112	7,6158	3,8709	17,2414	182,21	2642,08
59	3481	205379	7,6811	3,8930	16,9492	185,35	2733,97
60	3600	216000	7,7460	3,9149	16,6667	188,50	2827,43
61	3721	226981	7,8102	3,9365	16,3934	191,64	2922,47
62	3844	238328	7,8740	3,9579	16,1290	194,78	3019,07

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
63	3969	250047	7.9373	3.9791	15,8730	197.92	3117.25
64	4096	262144	8.0000	4.0000	15,6250	201.06	3216.99
65	4225	274625	8.0623	4.0207	15,3846	204.20	3318.31
66	4356	287496	8.1240	4.0412	15.1515	207.35	3421.19
67	4489	300763	8.1854	4.0615	15.9254	210.49	3525.65
68	4464	314432	8.2462	4.0817	14.7059	213.63	3631.68
69	4761	328509	8.3066	4.1016	14.4928	216.77	3739.28
70	4900	343000	8.3666	4.1213	14.2857	219.91	3848.45
71	5041	357911	8.4261	4.1408	14.0845	223.05	3959.19
72	5184	373248	8.4853	4.1602	13.8889	226.19	4071.50
73	5329	389017	8,5440	4.1793	13,6986	229,34	4185,39
74	5476	405224	8,6023	4,1983	13,5135	232.48	4300,84
75	5625	421875	8,6603	4,2172	13,3333	235,62	4417,86
76	5776	438976	8,7178	4,2358	13,1579	238,76	4536,46
77	5929	456533	8,7750	4,2543	12,9870	241,90	4656,63
78	6084	474552	8,8318	4,2727	12,8205	245.04	4778,36
79	6241	493039	8,8882	4,2908	12,6582	248.19	4901,67
80	6400	512000	8,9443	4,3089	12,5000	251,23	5026,55
81	6561	531441	9,0000	4,3267	12,3457	254,47	5153,00
82	6724	551368	9,0554	4,3445	12,1951	257,61	5281,02
83	6889	571787	9,1104	4,3621	12,0482	260,65	5410,61
84	7056	592704	9,1652	4,3795	11,9048	263,89	5541,77
85	7225	614125	9,2195	4,3968	11,7647	267,04	5674,50
86	7396	636056	9,2736	4,4140	11,6279	270,18	5808,80
87	7569	658503	9,3274	4,4310	11,4943	273,32	5944,68
88	7744	681472	9,3808	4,4480	11,3636	276,46	6082,12
89	7921	704969	9,4340	4,4647	11,2360	279,60	6221,14
90	8100	729000	9,4868	4,4814	11,1111	282,74	6361,73
91	8281	753571	9,5394	4,4979	10,9890	285,88	6503,88
92	8464	778688	9,5917	4,5144	10,8696	289,03	6647,61
93	8649	804357	9,6437	4,5307	10,7527	292,17	6792,91
94	8836	830584	9,6954	4,5468	10,6383	295,31	5939,78
95	9025	857375	9,7468	4,5629	10,5263	298,45	7038,22
96	9216	884736	9,7980	4,5789	10,4167	301,59	7238,23
97	9409	912673	9,8489	4,5947	10,3093	304,73	7389,81
98	9604	941192	9,8995	4,6104	10,2041	307,88	7542,96
99	9801	970299	9,9499	4,6261	10,1010	311,02	7697,69
100	10000	1000000	10,0000	4,6416	10,0000	314,16	7853,98
101	10201	1030301	10,0499	4,6570	9,90099	317,30	8011,85
102	10404	1061208	10,0995	4,6723	9,80392	320,44	8171,28
103	10609	1092727	10,1489	4,6875	9,70784	323,58	8332,29
104	10816	1124864	10,1980	4,7027	9,61538	326,73	8497,87
105	11025	1157625	10,2470	4,7177	9,52381	329,87	8659,01
106	11236	1191016	10,2956	4,7326	9,43396	333,01	8824,73
107	11449	1225043	10,3441	4,7475	9,34579	336,15	8992,02
108	11664	1259712	10,3923	4,7622	9,25926	339,29	9160,88
109	11881	1295029	10,4403	4,7769	9,17431	342,43	9331,32
110	12100	1331000	10,4881	4,7914	9,09091	345,58	9503,32
111	12321	1367631	10,5357	4,8059	9,00901	348,72	9676,89
112	12544	1404928	10,5830	4,8203	8,92857	351,86	9852,03
113	12769	1442897	10,6301	4,8346	8,84956	355,00	10028,7
114	12996	1481544	10,6771	4,8488	8,77193	358,14	10207,0
115	13225	1520875	10,7238	4,8629	8,69565	361,28	10386,9
116	13456	1560896	10,7703	4,8770	8,62069	364,42	10568,3
117	13869	1601613	10,8167	4,8910	8,54701	367,57	10751,3
118	13924	1643032	10,8628	4,9049	8,47458	370,71	10935,9
119	14121	1685159	10,9087	4,9187	8,40336	373,85	11122,0
120	14400	1728000	10,9545	4,9324	8,33333	376,99	11309,7
121	14641	1771561	11,0000	4,9461	8,26446	380,13	11499,0
122	14884	1815848	11,0454	4,9597	8,19672	383,27	11689,9
123	15129	1860867	11,0905	4,9732	8,13008	386,42	11882,3
124	15376	1906624	11,1355	4,9866	8,06452	389,56	12076,3
125	15625	1953125	11,1803	5,0000	8,00000	392,70	12271,8
126	15876	2000376	11,2250	5,0133	7,93651	395,84	12469,0
127	16129	2048383	11,2694	5,0265	7,87402	398,98	12667,7
128	16384	2097152	11,3137	5,0397	7,81250	402,12	12868,0
129	16641	2146689	11,3578	5,0528	7,75194	405,27	13069,8
130	16900	2197000	11,4018	5,0658	7,69231	408,41	13273,2

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
131	17161	2248091	11,4455	5,0788	7,63359	411,55	13478,2
132	17424	2299968	11,4891	5,0916	7,57576	414,69	13684,8
133	17689	2352637	11,5326	5,1045	7,51880	417,83	13892,9
134	17956	2406104	11,5758	5,1172	7,46269	420,97	14102,6
135	18225	2460375	11,6190	5,1299	7,40741	424,12	14313,9
136	18496	2515456	11,6619	5,1426	7,35294	427,26	14526,7
137	18769	2571353	11,7047	5,1551	7,29927	430,40	14741,1
138	19044	2628072	11,7473	5,1676	7,24638	433,54	14957,1
139	19321	2685619	11,7898	5,1801	7,19424	436,68	15174,7
140	19600	2744000	11,8322	5,1925	7,14286	439,82	15393,8
141	19881	2803221	11,8743	5,2048	7,09220	442,96	15614,5
142	20164	2863288	11,9164	5,2171	7,04225	446,11	15836,8
143	20449	2924207	11,9583	5,2293	6,99301	449,25	16060,6
144	20736	2985984	12,0000	5,2415	6,94444	452,39	16286,0
145	21025	3048625	12,0416	5,2536	6,89655	455,53	16513,0
146	21316	3112136	12,0830	5,2656	6,84932	458,67	16741,5
147	21609	3176523	12,1244	5,2776	6,80272	461,81	16971,7
148	21904	3241792	12,1655	5,2896	6,75676	464,96	17203,4
149	22201	3307949	12,2066	5,3015	6,71141	468,10	17436,6
150	22500	3375000	12,2474	5,3133	6,66667	471,24	17671,5
151	22801	3442951	12,2882	5,3251	6,62252	474,38	17907,9
152	23104	3511808	12,3288	5,3368	6,57895	477,52	18145,8
153	23409	3581577	12,3693	5,3485	6,53595	480,66	18385,4
154	23716	3652264	12,4097	5,3601	6,49351	483,81	18626,5
155	24035	3723875	12,4499	5,3717	6,45161	486,95	18869,2
156	24336	3796416	12,4900	5,3832	6,41026	490,09	19113,4
157	24649	3869893	12,5300	5,3947	6,36943	493,23	19359,3
158	24964	3944312	12,5698	5,4061	6,32911	496,37	19606,7
159	25281	4019679	12,6095	5,4175	6,28931	499,51	19855,7
160	25600	4096000	12,6491	5,4288	6,25000	502,65	20106,2
161	25921	4173281	12,6886	5,4401	6,21118	505,80	20358,3
162	26244	4251528	12,7279	5,4514	6,17284	508,94	20612,0
163	26569	4330747	12,7671	5,4626	6,13497	512,08	20867,2
164	26896	4410944	12,8062	5,4737	6,09756	515,22	21124,1
165	27225	4492125	12,8452	5,4848	6,06061	518,36	21382,5
166	27556	4574296	12,8841	5,4959	6,02410	521,50	21642,4
167	27889	4657463	12,9228	5,5069	5,98802	524,65	21904,0
168	28224	4741632	12,9615	5,5178	5,95238	527,79	22167,1
169	28561	4826809	13,0000	5,5288	5,91716	530,93	22431,8
170	28900	4913000	13,0384	5,5397	5,88235	534,07	22698,0
171	29241	5000211	13,0767	5,5505	5,84795	537,21	22965,8
172	29584	5088448	13,1149	5,5613	5,81395	540,35	23235,2
173	29929	5177717	13,1529	5,5721	5,78035	543,50	23506,2
174	30276	5268024	13,1909	5,5828	5,74713	546,64	23778,7
175	30625	5359375	13,2288	5,5934	5,71429	549,78	24052,8
176	30976	5451776	13,2665	5,6041	5,68182	552,92	24328,5
177	31329	5545233	13,3041	5,6147	5,64972	556,06	24605,7
178	31684	5639752	13,3417	5,6252	5,61798	559,20	24884,6
179	32041	5735339	13,3791	5,6357	5,58659	562,35	25164,9
180	32400	5832000	13,4164	5,6462	5,55556	565,49	25446,9
181	32761	5929741	13,4536	5,6507	5,52486	568,63	25730,4
182	33124	6028560	13,4907	5,6671	5,49451	571,77	26015,5
183	33489	6128487	13,5277	5,6774	5,46448	574,91	26302,2
184	33856	6229504	13,5647	5,6877	5,43478	578,05	26590,4
185	34225	6331625	13,6015	5,6980	5,40541	581,19	26880,3
186	34596	6434856	13,6382	5,7083	5,37634	584,34	27171,6
187	34969	6539203	13,6748	5,7185	5,34759	587,48	27464,6
188	35344	6644672	13,7113	5,7287	5,31915	590,62	27759,1
189	35721	6751269	13,7477	5,7388	5,29101	593,76	28055,2
190	36100	6859000	13,7840	5,7489	5,26316	596,90	28352,9
191	36481	6967871	13,8203	5,7590	5,23560	600,04	28652,1
192	36864	7077888	13,8564	5,7690	5,20833	603,19	28952,9
193	37249	7189057	13,8924	5,7790	5,18135	606,33	29255,3
194	37636	7301384	13,9284	5,7890	5,15464	609,47	29559,2
195	38025	7414875	13,9642	5,7989	5,12851	612,61	29864,8
196	38416	7529536	14,0000	5,8088	5,10204	615,75	30171,9
197	38809	7645373	14,0357	5,8186	5,07614	618,89	30480,5
198	39204	7762392	14,0712	5,8285	5,05051	622,04	30790,7

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
199	39601	7880599	14,1067	5,8383	5,02513	625,18	31102,6
200	40000	8000000	14,1421	5,8480	5,00000	628,32	31415,9
201	40401	8120601	14,1774	5,8578	4,97512	631,46	31730,9
202	40804	8242408	14,2127	5,8675	4,95050	634,60	32047,4
203	41209	8365427	14,2478	5,8771	4,92611	637,74	32365,5
204	41616	8489664	14,2829	5,8868	4,90196	640,88	32685,1
205	42025	8615125	14,3178	5,8964	4,87805	644,03	33006,4
206	42436	8741816	14,3527	5,9059	4,85437	647,17	33329,2
207	42849	8869743	14,3875	5,9155	4,83092	650,31	33653,5
208	43264	8998912	14,4222	5,9250	4,80769	655,45	33979,5
209	43681	9129329	14,4568	5,9345	4,78469	656,59	34307,0
210	44100	9261000	14,4914	5,9439	4,76190	659,73	34636,1
211	44521	9393931	14,5258	5,9533	4,73934	662,88	34966,7
212	44944	9528128	14.5602	5,9627	4,71698	666,02	35298,9
213	45369	9663597	14,5945	5,9721	4,69484	669,16	35632,7
214	45796	9800344	14,6287	5,9814	4,67290	672,30	35968,1
215	46225	9938375	14,6629	5,9907	4,65116	675,44	36306,0
216	46656	10077696	14,6969	6,0000	4,62963	678,58	36643,5
217	47089	10218313	14,7309	6,0092	4,60829	681,73	36983,6
218	47524	10360232	14,7648	6,0185	4,58716	684,87	37325,3
219	47961	10503459	14,7986	6,0277	4,56621	688,01	37668,5
220	48400	10648000	14,8324	6,0368	4,54545	691,15	38013,3
221	48841	10793861	14,8661	6,0459	4,52489	694,29	38359,6
222	49284	10941048	14,8997	6,0550	4,50450	697,43	38707,6
223	49729	11089567	14,9332	6,0641	4,48430	700,58	39057.1
224	50176	11239424	14,9666	6,0732	4,46429	703.72	39408.1
225	50625	11390625	15,0000	6,0822	4,44444	706,86	39760.8
226	51076	11543176	15,0333	6,0912	4,42478	710.00	40115.0
227	51529	11697083	15,0665	6,1002	4,40529	713,14	40470,8
228	51984	11852352	15,0997	6,1091	4,38596	716,28	40828,1
229	52441	12008989	15,1327	6,1180	4,36681	719,42	41187,1
230	52900	12167000	15,1658	6,1269	4,34783	782,57	41547,6
231	53361	12326391	15,1987	6,1358	4,32900	725,71	41909,6
232	53824	12487168	15,2315	6,1446	4,31034	728,85	42273,3
233	54289	12649337	15,2643	6,1534	4,29185	731,99	42638,5
234	54756	12812904	15,2971	6,1622	4,27350	735,13	43005,3
235	55225	12977875	15,3297	6,1710	4,25532	738,27	43373,6
236	55696	13144256	15,3623	6,1797	4,23729	741,42	43743,5
237	56169	13312053	15,3948	6,1885	4,21941	744,56	44115,0
238	56644	13481272	15,4272	6,1972	4,20168	747,70	44488,1
239	57121	13651919	15,4596	6,2058	4,18410	750,84	44862,7
240	57600	13824000	15,4919	6,2145	4,16667	753,98	45238,9
241	58081	13997521	15,5242	6,2231	4,14938	757,12	45616,7
242	58564	14172488	15,5563	6,2317	4,13223	760,27	45996,1
243	59049	14348907	15,5885	6,2403	4,11523	763,41	46377,0
244	59536	14526784	15,6205	6,2488	4,09836	766,55	46759,5
245	60025	14706125	15,6525	6,2573	4,09163	769,69	47142,5
246	60516	14880936	15,6844	6,3658	4,06504	771,83	47529,2
247	61009	15069223	15,7162	6,2743	4,04858	775,97	47916,4
248	61504	15252992	15,7480	6,2828	4,03226	779,11	48305,1
249	62001	15438249	15,7797	6,2912	4,01606	782,26	48695,5
250	62500	15625000	15,8114	6,2996	4,00000	785,40	49087,4
251	63001	15813251	15,8430	6,3080	3,98406	788,54	49480,9
252	63504	16003008	15,8745	6,3164	3,96825	791,68	49875,9
253	64009	16194277	15,9060	6,3247	3,95257	794,82	50272,6
254	64516	16387064	15,9374	6,3330	3,93701	797,96	50670,7
255	65205	16581375	15,9687	6,3413	3,92157	801,11	51070,5
256	65536	16777216	16,0000	6,3406	3,90625	804,25	51471,9
257	66049	16974593	16,0312	6,3579	3,89105	807,39	51874,8
258	66564	17173512	16,0624	6,3661	3,87597	810,53	52279,4
259	67081	17373979	16,0935	6,3743	3,86100	813,67	52685,3
260	67600	17576000	16,1245	6,3825	3,84615	816,81	53092,9
261	68121	17779581	16,1555	6,3907	3,83142	819,96	53502,1
262	68644	17974728	16,1864	6,3988	3,81679	823,10	53912,9
263	69169	18191447	16,2173	6,4070	3,80228	826,24	54325,2
264	69696	18399744	16,2481	6,4151	3,78788	829,38	54739,1
265	70025	18609625	16,2788	6,4232	3,77358	832,52	55154,6
266	70756	18821096	16,3095	6,4312	3,75940	835,66	55571,6

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
267	71289	19034163	16,3401	6,4393	3,74532	838,81	55990,2
268	71824	19248832	16,3707	6,4473	3,73134	841,95	56410,4
269	72361	19465109	16,4012	6,4553	3,71747	845,09	56832,2
270	72900	19683000	16,4317	6,4633	3,70370	848,23	57255,5
271	73441	19902511	16,4621	6,4713	3,69004	851,37	57680,4
272	73984	20123648	16,4924	6,4792	3,67647	854,51	58106,0
273	74529	20346417	16,5227	6,4872	3,66300	857,65	58534,9
274	75076	20570824	16,5529	6,4951	3,64964	860,80	58964,6
275	75625	20796875	16,5831	6,5030	3,63636	863,94	59395,7
276	76176	21024576	16,6132	6,5108	3,62319	867,08	59828,5
277	76729	21253933	16,6433	6,5187	3,61011	870,22	60262,8
278	77284	21484952	16,6733	6,5265	3,59712	873,36	60698,7
279	77841	21717639	16,7033	6,5343	3,58423	876,50	61136,2
280	78400	21952000	16,7332	6,5421	3,57143	879,65	61575,2
281	78961	22188041	16,7631	6,5499	3,55872	882,79	62015,8
282	79524	22425768	16,7929	6,5577	3,54610	885,93	62458,0
283	80089	22665187	16,8226	6,5654	3,53357	889,07	62901,8
284	80656	22906304	16,8523	6,5731	3,52113	892,21	63347,1
285	81225	23149125	16,8819	6,5408	3,50877	895,35	63794,0
286	81796	23393656	16,9115	6,5885	3,49650	898,50	64242,4
287	82369	23639903	16,9411	6,5962	3,48432	901,64	64692,5
288	82944	23887872	16,9706	6,6039	3,47222	904,78	65144,1
289	83521	24137569	17,0000	6,6115	3,46021	907,92	65597,2
290	84100	24389000	17,0294	6,6191	3,44828	911,06	66052,0
291	84681	24642171	17,0587	6,6227	3,43643	914,20	66508,3
292	85264	24897088	17,0880	6,6343	3,42466	917,35	66966,2
293	85849	25153757	17,1172	6,6419	3,41297	220,49	67425,6
294	86436	25412184	17,1464	6,6494	3,40136	923,63	67886,7
295	87025	25672375	17,1756	6,6569	3,38983	926,77	68349,3
296	87616	25934336	17,2047	6,6644	3,37838	929,91	68813,4
297	88209	26198073	17,2337	6,6719	3,36700	933,05	69279,2
298	88804	26463592	17,2627	6,6794	3,35570	936,19	69746,5
299	89401	26730899	17,2916	6,6869	3,34448	939,34	70215,4
300	90000	27000000	17,3205	6,6943	3,33333	952,48	70685,8
301	90601	27280901	17,3494	6,7018	3,32226	945,62	71157,9
302	91204	27543608	17,3781	6,7092	3,31126	948,76	71631,5
303	91809	27818127	17,4069	6,7166	3,30033	951,90	72106,6
304	92416	28094464	17,4356	6,7240	3,28947	955,04	72583,4
305	93025	28372625	17,4642	6,7313	3,27869	958,19	73061,7
306	93636	28652616	17,4929	6,7387	3,26797	961,33	73541,5
307	94249	28934443	17,5214	6,7460	3,25733	964,47	74023,0
308	94864	29218112	17,5499	6,7533	3,24675	967,75	74505,9
309	95481	29503629	17,5784	6,7606	3,23625	970,75	74990,6
310	96100	29791000	17,6068	6,7076	3,22581	973,89	75476,8
311	96721	30080231	17,6352	6,7752	3,21543	977,04	75964,5
312	97344	30371328	17,6635	6,7824	3,20515	980,18	76453,8
313	97969	30664297	17,6918	6,7897	3,19489	983,32	76944,7
314	98596	30959144	17,7200	6,7969	3,18471	986,46	77437,1
315	99225	31255875	17,7482	6,8041	3,17460	989,60	77941,1
316	99586	31554496	17,7764	6,8113	3,16456	992,74	78426,7
317	100480	31855013	17,8045	6,8185	3,15457	995,88	78923,9
318	101124	32157432	17,8326	6,8256	3,14465	999,03	79422,6
319	101761	32461759	17,8606	6,8328	3,13480	1002,2	79922,9
320	102400	32768000	17,8885	6,8399	3,12500	1005,3	80424,0
321	103041	33076161	17,9165	6,8470	3,11526	1008,5	80928,2
322	103684	33385248	17,9444	6,8541	3,10559	1011,6	81433,2
323	104329	33698267	17,9722	6,8612	3,09598	1014,7	81939,8
324	104976	34012224	18,0000	6,8683	3,08642	1017,9	82448,0
325	105625	34328125	18,0278	6,8753	3,07692	1021,0	82957,7
326	106276	34645976	18,0555	6,8824	3,06748	1024,2	83469,0
327	106929	34965783	18,0831	6,8894	3,05810	1027,3	83981,8
328	107584	35287552	18,1108	6,8964	3,04878	1030,4	84496,3
329	108241	35611289	18,1384	6,9034	3,03951	1033,6	85012,3
330	108900	35937000	18,1659	6,9104	3,03030	1036,7	85529,9
331	109561	36264691	18,1934	6,9174	3,02115	1039,9	86049,0
332	110224	36594368	18,2209	6,9244	3,01205	1043,0	86569,7
333	110889	36926037	18,2483	6,9313	3,00300	1046,2	87092,0
334	111556	37259704	18,2757	6,9382	2,99401	1049,3	87615,9

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
335	112225	37595375	18,3030	6,9451	2,98507	1052,4	88141,3
336	112896	37933056	18,3303	6,9521	2,97619	1055,6	88668,3
337	113569	38272753	18,3576	6,9589	2,96736	1058,7	89196,9
338	114244	38614472	18,3848	6,9658	2,95858	1061,9	89727,0
339	114921	38958219	18,4120	6,9727	2,94985	1065,0	90258,7
340	115600	39304000	18,4391	6,9795	2,94118	1068,1	90792,0
341	116281	39651821	18,4662	6,9864	2,93255	1071,3	91326,9
342	116964	40001688	18,4932	6,9932	2,92398	1074,4	91863,3
343	117649	40353607	18,5203	7,0000	2,91545	1077,6	92401,3
344	118336	40707584	18,5472	7,0068	2,90698	1080,7	92940,9
345	119025	41063625	18,5742	7,0136	2,89855	1083,8	93482,0
346	119716	41421736	18,6011	7,0203	2,89017	1087,0	94024,7
347	120409	41791923	18,6279	7,0271	2,88184	1090,1	94569,0
348	121104	42144192	18,6548	7,0338	2,87356	1093,3	95114,9
349	121801	42508549	18,6815	7,0406	2,86533	1096,4	95662,3
350	122500	42875000	18,7083	7,0473	2,85714	1099,6	96211,3
351	123201	43243551	18,7350	7,0540	2,84900	1102,7	96761,8
352	123904	43614208	18,7617	7,0607	2,84091	1105,8	97314,0
353	124609	43986977	18,7883	7,0674	2,83286	1109,0	97867,7
354	125316	44361864	18,8149	7,0740	2,82486	1112,1	98423,0
355	126025	44738875	18,8414	7,0807	2,81690	1115,3	98979,8
356	126736	45118016	18,8680	7,0873	2,80899	1118,4	99538,2
357	127449	45499293	18,8944	7,0940	2,80112	1121,5	100098
358	128164	45882712	18,9209	7,1006	2,79330	1124,7	100660
359	128881	46268279	18,9473	7,1072	2,78552	1127,8	101223
360	129600	46656000	18,9737	7,1138	2,77778	1131,0	101788
361	130321	47045881	19,0000	7,1204	2,77008	1134,1	102354
362	131044	47437928	19,0263	7,1269	2,76243	1137,3	102922
363	131769	47832147	19,0526	7,1335	2,75482	1140,4	103491
364	132496	48228544	19,0788	7,1400	2,74725	1143,5	104052
365	133225	48627125	19,1050	7,1466	2,73973	1146,7	104635
366	133956	49027896	19,1311	7,1531	2,73224	1149,8	105209
367	134689	49430863	19,1572	7,1596	2,72480	1153,0	105785
368	135424	49836032	19,1833	7,1661	2,71739	1156,1	106362
369	136161	50203409	19,2094	7,1726	2,71003	1159,2	106941
370	136900	50653000	19,2354	7,1791	2,70270	1162,4	107521
371	137641	51064811	19,2614	7,1855	2,69542	1165,5	108103
372	138384	51478848	19,2873	7,1920	2,68817	1168,7	108687
373	139129	51895117	19,3132	7,1984	2,68007	1171,8	109272
374	139876	52313624	19,3391	7,2048	2,67380	1175,0	109858
375	140625	52734375	19,3649	7,2112	2,66667	1178,1	110447
376	141376	53157376	19,3907	7,2177	2,65957	1181,2	111036
377	142129	53582633	19,4165	7,2240	2,65252	1184,4	111628
378	142884	54010152	19,4422	7,2304	2,64550	1187,5	112221
379	143641	54439939	19,4679	7,2368	2,63852	1190,7	112815
380	144400	54872000	19,4936	7,2432	2,63158	1193,8	113411
381	145161	55306341	19,5192	7,2495	2,62467	1196,9	114009
382	145924	55742968	19,5448	7,2558	2,61780	1200,1	114608
383	146698	56181887	19,5704	7,2622	2,61097	1203,2	115209
384	147456	56623104	19,5959	7,2685	2,60417	1206,4	115812
385	148225	57066625	19,6214	7,2748	2,59740	1209,5	116416
386	148996	57512456	19,6469	7,2811	2,59067	1212,7	117021
387	149769	57960603	19,6723	7,2874	2,58398	1215,8	117628
388	150544	58411072	19,6977	7,2936	2,57732	1218,9	118237
389	151321	58863869	19,7231	7,2999	2,57069	1222,1	118847
390	152100	59319000	19,7484	7,3061	2,56410	1225,2	119459
391	152881	59776471	19,7737	7,3124	2,55754	1228,4	120072
392	153664	60236288	19,7990	7,3186	2,55102	1231,5	120687
393	154449	60698457	19,8242	7,3248	2,54453	1234,6	121304
394	155236	61162984	19,8494	7,3310	2,53807	1237,8	121922
395	156025	61629875	19,8746	7,3372	2,53165	1240,9	122542
396	156816	62099136	19,8997	7,3424	2,52525	1241,1	123163
397	157609	62570773	19,9249	7,3496	2,51889	1247,2	123786
398	158404	63044792	19,9499	7,3558	2,51256	1250,4	124410
399	159201	63521199	19,9750	7,3619	2,50627	1253,5	125036
400	160000	64000000	20,0000	7,3681	2,50000	1256,6	125664
401	160801	64481201	20,0250	7,3742	2,49377	1259,8	126293
402	161604	64964808	20,0499	7,3803	2,48756	1262,9	126923

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
403	162409	65450827	20,0749	7,3864	2,48139	1266,1	127556
404	163216	65939264	20,0998	7,3925	2,47525	1269,2	128190
405	164025	66430125	20,1246	7,3986	2,46914	1272,3	128825
406	164386	66923416	20,1494	7,4047	2,46305	1275,5	129462
407	165649	67419143	20,1742	7,4108	2,45700	1278,6	130100
408	166474	67917312	20,1990	7,4169	2,45098	1281,8	130741
409	167281	68417929	20,2237	7,4229	2,44499	1284,9	131382
410	168100	68921000	20,2485	7,4290	2,43902	1288,1	132025
411	168921	69426531	20,2731	7,4350	2,43309	1291,2	132670
412	169744	69934528	20,2978	7,4410	2,42718	1294,3	133317
413	170569	70444907	20,3224	7,4470	2,42131	1297,5	133965
414	171396	70957944	20,3470	7,4530	2,41546	1300,6	134614
415	172225	71473375	20,3715	7,4590	2,40964	1303,8	135265
416	173056	71991296	20,3961	7,4650	2,40385	1306,9	135918
417	173889	72511713	20,4206	7,4710	2,39808	1310,0	136572
418	174724	73034632	20,4450	7,4770	2,39234	1313,2	137228
419	175561	73560059	20,4695	7,4829	2,38663	1316,3	137885
420	176400	74088000	20,4939	7,4889	2,38095	1319,5	138544
421	177241	74618461	20,5183	7,4948	2,37530	1322,6	139205
422	178084	75151448	20,5426	7,5007	2,36967	1325,8	139867
423	178929	75686967	20,5670	7,5067	2,36407	1328,9	140531
424	179776	76225024	20,5913	7,5126	2,35849	1332,0	141196
425	180625	76705625	20,6155	7,5185	2,35294	1335,2	141863
426	181746	77308776	20,6398	7,5244	2,34742	1338,3	142531
427	182329	77854483	20,6640	7,5302	2,34192	1341,5	143201
428	183184	78402752	20,6882	7,5361	2,33645	1344,6	143872
429	184041	78953589	20,7123	7,5420	2,33100	1347,7	144545
430	184900	79507000	20,7364	7,5478	2,32558	1350,9	145220
431	185761	86062991	20,7605	7,5537	2,32019	1354,0	145896
432	186624	80621568	20,7846	7,5595	2,31481	1357,2	146574
433	187489	81182737	20,8087	7,7654	2,30947	1360,3	147254
434	188356	81746504	20,8327	7,5712	2,30415	1363,5	147934
435	189225	82312875	20,8567	7,5770	2,29885	1366,6	148617
436	190096	82881850	20,8806	7,5828	2,29358	1369,7	149301
437	190969	83453453	20,9045	7,5886	2,28833	1772,9	149987
438	191844	84027672	20,9284	7,5944	2,28311	1376,0	150674
439	192721	84604519	20,9523	7,6001	2,27790	1379,2	151363
440	193600	85184000	20,9762	7,6059	2,27273	1382,3	152053
441	194481	85766121	21,0000	7,6117	2,26757	1385,4	152745
442	195364	86350888	21,0238	7,6174	2,26244	1388,6	153439
443	196249	86938307	21,0476	7,6232	2,25734	1391,7	154134
444	197136	87528384	21,0713	7,6289	2,25225	1394,9	154830
445	198025	88121125	21,0950	7,6346	2,24719	1398,0	155528
446	198916	88716536	21,1187	7,6403	2,24215	1401,2	156228
447	199809	89314623	21,1424	7,6460	2,23714	1404,3	156930
448	200704	89915392	21,1660	7,6517	2,23214	1407,4	157633
449	201601	90518849	21,1896	7,6574	2,22717	1410,6	158337
450	202500	91125000	21,2132	7,6631	2,22222	1413,7	159043
451	203401	91733851	21,2368	7,6688	2,21729	1416,9	159751
452	204304	92345408	21,2603	7,6744	2,21239	1420,0	160460
453	205209	92959677	21,2838	7,6801	2,20751	1423,1	161171
454	206116	93576664	21,3073	7,6857	2,20264	1426,3	161883
455	207025	94196375	21,3307	7,6914	2,19780	1420,4	162597
456	207936	94818816	21,3542	7,6970	2,19298	1432,6	163313
457	208849	95443993	21,3776	7,7026	2,18818	1435,7	164030
458	209764	96071912	21,4009	7,7082	2,18341	1438,8	164748
459	210681	96702579	21,4243	7,7138	2,17865	1442,0	165468
460	211600	97336000	21,4243	7,7138	2,17865	1442,0	165468
461	212521	97972181	21,4709	7,7250	2,16920	1448,3	166914
462	213444	98611128	21,4942	7,7306	2,16450	1451,4	167639
463	214369	99252847	21,5174	7,7362	2,15983	1454,6	168365
464	215296	99897344	21,5407	7,7418	2,15517	1457,7	169093
465	216225	100544625	21,5639	7,7373	2,15054	1460,8	169823
466	217156	101594696	21,5870	7,7529	2,14592	1464,0	170554
467	218089	101847563	21,6102	7,7584	2,14133	1467,1	171287
468	219024	102503232	21,6333	7,7639	2,13675	1470,3	172021
469	219961	103161709	21,6564	7,7695	2,13220	1473,4	172757

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
470	220900	103823000	21,6795	7,7750	2,12766	1476,5	173494
471	221841	104487111	21,7025	7,7805	2,12314	1479,7	174234
472	222784	105154048	21,7256	7,7866	2,11864	1482,8	174974
473	223729	105823817	21,7486	7,7915	2,11415	1486,0	175627
474	224676	106496424	21,7715	7,7970	2,10970	1489,1	176460
475	225625	107171875	21,7945	7,8025	2,10526	1492,3	177205
476	226576	107850176	21,8174	7,8079	2,10084	1495,4	177952
477	227529	108531333	21,8403	7,8134	2,09644	1498,5	178701
478	227529	109215352	21,8632	7,8188	2,09205	1501,7	179461
479	229441	109902239	21,8861	7,8243	2,08768	1504,8	180203
480	230400	110592000	21,9089	7,8297	2,08333	1508,0	180956
481	231361	111284641	21,9317	7,8352	2,07900	1511,1	181711
482	232324	111980168	21,9545	7,8406	2,07469	1514,2	182467
483	233289	112678587	21,9773	7,8460	2,07039	1517,5	183225
484	234256	112279904	22,0000	7,8514	2,06612	1520,5	183984
485	235225	114084125	22,0227	7,8568	2,06186	1523,7	184745
486	236196	114791256	22,0454	7,8622	2,05761	1526,8	185509
487	236169	115501303	22,0681	7,8676	2,05339	1530,0	186272
488	238144	116214272	22,0907	7,8730	2.04918	1533,1	187038
489	239121	116930169	22,1133	7,8784	2,04499	1536,2	187805
490	240100	117649000	22,1359	7,8837	2,04082	1539,4	188574
491	241081	118370771	22,1585	7,8891	2,03666	1542,5	189345
492	242064	119095488	22,1811	7,8944	2,03252	1545,7	190117
493	243049	119823157	22,2036	7,8998	2,02840	1548,8	190890
494	244036	120553784	22,2261	7,9051	2,02429	1551,9	191665
495	245025	121287375	22,2486	7,9105	2,02020	1555,1	192442
496	246016	122023936	22,2711	7,9158	2,01613	1558,2	193221
497	247009	122763473	22,2935	7,9211	2,01207	1561,4	194000
498	248004	123505992	22,3159	7,9264	2,00803	1564,5	194782
499	249001	124251499	22,3383	7,9317	2,00401	1567,7	195565
500	250000	125000000	22,3607	7,9370	2,00000	1570,8	196350

TABLA Nº 23 - LOGARITMOS COMUNES DE LOS NÚMEROS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	4	8	12	17	21	25	29	33	37
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	4	8	11	15	19	23	26	30	34
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	3	7	10	14	17	21	24	28	31
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	3	6	10	13	16	19	23	26	29
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	3	6	9	12	15	18	21	24	27
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	3	6	8	11	14	17	20	22	25
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	3	5	8	11	13	16	18	21	24
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	2	5	7	10	12	15	17	20	22
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	2	5	7	9	12	14	16	19	21
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	2	4	7	9	11	13	16	18	20
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	2	4	6	8	11	13	15	17	19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2	4	6	8	10	12	14	16	18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2	4	6	8	10	12	14	15	17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2	4	6	7	9	11	13	15	17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3900	3927	3945	3962	2	4	5	7	9	11	12	14	16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2	3	5	7	9	10	12	14	15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2	3	5	7	8	10	11	13	15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2	3	5	6	8	9	11	13	14
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2	3	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1	3	4	6	7	9	10	11	13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1	3	4	6	7	8	10	11	12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1	3	4	5	7	8	9	11	12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1	3	4	5	6	8	9	10	12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1	3	4	5	6	8	9	10	11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	9	10	11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	8	10	11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1	2	3	5	6	7	8	9	10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1	2	3	5	6	7	8	9	10
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1	2	3	4	5	7	8	9	10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1	2	3	4	5	6	8	9	10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1	2	3	4	5	6	7	7	8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1	2	3	4	5	5	6	7	8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	4	5	6	7	8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	4	5	6	7	8
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7

TABLA Nº 23 - LOGARITMOS COMUNES DE LOS NÚMEROS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	5	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	3	4	5	5	6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	5	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	5	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	5	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	2	3	4	4	5	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1	1	2	2	3	3	4	5	5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	3	4	5	5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	4	4	5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	4	4	5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	4	4	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	4	4	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	4	4	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	4	4	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	4	4	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	4	4	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	4	4	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	4	4	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	3	3	4	4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	2	2	3	3	4	4
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0	1	1	2	2	3	3	4	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	2	2	3	3	4	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	2	2	3	3	4	4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0	1	1	2	2	3	3	4	4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	2	2	3	3	4	4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	0	1	1	2	2	3	3	4	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	2	2	3	3	4	4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0	1	1	2	2	3	3	4	4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	2	2	3	3	4	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0	1	1	2	2	3	3	4	4
99	0056	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0	1	1	2	2	3	3	3	4

TABLA Nº 24 - INTEGRALES COMUNES

1. $\int a\,dx = ax.$

2. $\int a \cdot f(x)\,dx = a \int f(x)\,dx.$

3. $\int \phi(y)\,dx = \int \dfrac{\phi(y)}{y'}\,dy,$ donde $y' = dy/dx.$

4. $\int (u + v)\,dx = \int u\,dx + \int u\,dx,$ donde u y v son funciones de x.

5. $\int u\,dv = uv - \int v\,du.$

6. $\int u \dfrac{dv}{dx}\,dx = uv - \int v \dfrac{du}{dx}\,dx.$

7. $\int x^n\,dx = \dfrac{x^{n+1}}{n+1},$ a excepción de $n = -1.$

8. $\int \dfrac{f'(x)\,dx}{f(x)} = \log f(x),$ $[d\,f(x) = f'(x)\,dx].$

9. $\int \dfrac{dx}{x} = \log x,$ o $\log\,(-$

10 $\int \dfrac{f'(x)\,dx}{2\sqrt{f(x)}} = \sqrt{f(x)},$ $[d\,f(x) = f'(x)\,dx].$

11. $\int e^x\,dx = e^x.$

12. $\int e^{ax}\,dx = e^{ax}/a.$

13. $\int b^{ax}\,dx = \dfrac{b^{ax}}{a \log b}.$

14. $\int \log x\,dx = x \log x - x.$

15. $\int a^x \log a\,dx = a^x.$

16. $\int \dfrac{dx}{a^2 + x^2} = \dfrac{1}{a} \tan^{-1}\left(\dfrac{x}{a}\right),$ o $-\dfrac{1}{a} \cot^{-1}\left(\dfrac{x}{a}\right).$

17. $\int \dfrac{dx}{a^2 - x^2} = \dfrac{1}{a}\,\text{tang}^{-1}\left(\dfrac{x}{a}\right)$ o $\dfrac{1}{2a} \log \dfrac{a + x}{a - x}.$

18. $\int \dfrac{dx}{x^2 - a^2} = -\dfrac{1}{a}\,\text{cotan}^{-1}\left(\dfrac{x}{a}\right),$ o $\dfrac{1}{2a} \log \dfrac{x - a}{x + a}.$

TABLA Nº 24 - INTEGRALES COMUNES

19. $\int \frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = \operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{x}{a}\right)$, o $-\cos^{-1}\left(\frac{x}{a}\right)$.

20. $\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} = \log (x + \sqrt{x^2 \pm a^2})$.

21. $\int \frac{dx}{x\sqrt{x^2 - a^2}} = \frac{1}{a} \cos^{-1}\left(\frac{a}{x}\right)$.

22. $\int \frac{dx}{x\sqrt{a^2 \pm x^2}} = -\frac{1}{a} \log\left(\frac{a + \sqrt{a^2 \pm x^2}}{x}\right)$.

23. $\int \frac{dx}{x\sqrt{a + bx}} = \frac{2}{\sqrt{-a}} \tan^{-1}\sqrt{\frac{a + bx}{-a}}$, o $\frac{-2}{\sqrt{a}} \tanh^{-1}\sqrt{\frac{a + bx}{a}}$

TABLA Nº 25 - CONSTANTES MATEMÁTICAS MÁS USUALES

$\pi = 3{,}14$

$2\pi = 6{,}28$

$(2\pi)^2 = 39{,}5$

$4\pi = 12{,}6$

$\pi^2 = 9{,}87$

$\frac{\pi}{2} = 1{,}57$

$\frac{1}{\pi} = 0{,}318$

$\frac{1}{2\pi} = 0{,}159$

$\frac{1}{\pi^2} = 0{,}101$

$\frac{1}{\sqrt{\pi}} = 0{,}564$

$\sqrt{\pi} = 1{,}77$

$\sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1{,}25$

$\sqrt{2} = 1{,}41$

$\sqrt{3} = 1{,}73$

$\frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}707$

$\frac{1}{\sqrt{3}} = 0{,}577$

$\log \pi = 0{,}497$

$\log \frac{\pi}{2} = 0{,}196$

$\log \pi^2 = 0{,}994$

$\log \sqrt{\pi} = 0{,}248$

Base de logs naturales $\varepsilon = 2{,}718$

1 radian $= 180^\circ/\pi = 57{,}3^\circ$

$360^\circ = 2\pi$ radianes

TABLA Nº 26 -

EQUIVALENTE DECIMAL DE FRACCIONES

Fracción				Decimal	Fracción				Decimal
1/64				0.0156	33/64				0.5156
	1/32			0.0313		17/32			0.5313
3/64				0.0469	35/64				0.5469
		1/16		0.0625			9/16		0.5625
5/64				0.0781	37/64				0.5781
	3/32			0.0938		19/32			0.5938
7/64				0.1094	39/64				0.6094
			1/8	0.1250				5/8	0.6250
9/64				0.1406	41/64				0.6406
	5/32			0.1563		21/32			0.6563
11/64				0.1719	43/64				0.6719
		3/16		0.1875			11/16		0.6875
13/64				0.2031	45/64				0.7031
	7/32			0.2188		23/32			0.7188
15/64				0.2344	47/64				0.7344
			1/4	0.2500				3/4	0.7500
17/64				0.2656	49/64				0.7656
	9/32			0.2813		25/32			0.7813
19/64				0.2969	51/64				0.7969
		5/16		0.3125			13/16		0.8125
21/64				0.3281	53/64				0.8281
	11/32			0.3438		27/32			0.8438
23/64				0.3594	55/64				0.8594
			3/8	0.3750				7/8	0.8750
25/64				0.3906	57/64				0.8906
	13/32			0.4063		29/32			0.9063
27/64				0.4219	59/64				0.9219
		7/16		0.4375			15/16		0.9375
29/64				0.4531	61/64				0.9531
	15/32			0.4688		31/32			0.9688
31/64				0.4844	63/64				0.9844
			1/2	0.5000				1	1.0000

TABLA Nº 27

FACTORES DE CONVERSIÓN

Longitud

1 pulgada	= 2,54 cm
1 pie	= 0,3048 metro
1 yarda	= 0,9144 metro
1 metro	= 3,281 pies
1 milla	= 1,609 kms

Area

1 pulgada cuadrada	= 6,451 cm^2
1 pie cuadrado	= 0,0929 m^2
1 yarda cuadrada	= 0,8361 m^2
1 milla cuadrada	= 2,59 km^2

Volumen

1 pulg.cúb.	= 16,39 cm^3
1 pie cúb.	= 0,02832 m^3
1 yarda cúb.	= 0,7645 m^3
1 pulg.cúb.	= 0,1639 litro
1 galón	= 4,546 litro
1 galón	= 0,1606 pie cúbico

Peso

1 onza	= 28,35 gr
1 libra	= 453,6 gr
1 libra	= 0,4536 kg
1 tonelada	= 1016 kg
1 tonelada ingl.	= 1,016 ton.métrica

Presión

1 bar	= 10^6 dinas/cm^2
1 gr.peso	= 981 dinas
1 lb peso	= 4,45 × 10^5 dinas
1 lb/$pulg^2$	= 70,31 gr/cm^2
1 atmósfera	= 14,71 lb/$pulg^2$
1 atmósfera	= 1,034 kg/cm^2

Energía

1 julio	= 10^7 ergios
1 julio	= 0,2386 cals
1 cm-gr	= 981 ergios
1 metro-kg	= 9,81 julios
1 H.P.-hora	= 2,685 × 10^6 julios
1 kW-hora	= 3,600 × 10^6 julios
1 gr cal	= 4,184 julios
1 kg cal	= 3,968 B.T.U.
1 B.T.U.	= 0,252 cal
1 B.T.U.	= 777,4 pies-lb
1 B.T.U.	= 0,293 vatios-hora
1 B.T.U.	= 1.058 julios

Potencia

1 H.P.	= 550 pies lb/seg
1 H.P.	= 746 vatios
1 vatio	= 1 julio/seg
1 kW	= 1,341 H.P.
1 kW	= 3.414 B.T.U./hora
1 B.T.U./minuto	= 176 vatios

Velocidad

1 milla/hora	= 44,7 cms/seg
1 milla/hora	= 88 pies/seg

1 lb/pie cúbico	= 0,01602 grs/cm^3
1 galón de agua a 15° C	= 10 lbs
1 galón de gasolina	= 7,7 lbs
1 galón de petróleo	= 9,7 lbs
1 lb de agua a 15° C	= 0,4546 litros
1 lb de agua a 15° C	= 0,1602 pies cúbicos

CAPÍTULO 14

TABLAS VARIAS

TABLA Nº 28 - ALFABETO GRIEGO

Mayúscula	*Minúscula*	*Nombre griego*
Α	α	Alfa
Β	β	Beta
Γ	γ	Gamma
Δ	δ	Delta
Ε	ε	Epsilon
Ζ	ζ	Dzeta
Η	η	Eta
Θ	θ	Teta
Ι	ι	Iota
Κ	κ	Kappa
Λ	λ	Lambda
Μ	μ	Mu
Ν	ν	Nu
Ξ	ξ	Xi
Ο	ο	Omicron
Π	π	Pi
Ρ	ρ	Ro
Σ	σ	Sigma
Τ	τ	Tau
Υ	υ	Upsilon
Φ	φ	Fi
Χ	χ	Chi
Ψ	ψ	Psi
Ω	ω	Omega

TABLA Nº 29 - COMPARACIÓN DE LAS MAGNITUDES ELÉCTRICAS Y MAGNÉTICAS

Unidades	*Símbolo*	*Prácticas y m.k.s.*μ_0	*Electromagnéticas c.g.s.*	*Electrostática c.g.s.*
Fuerza electromotriz y diferencia de potencial	E V	VOLTIO: 1 V = 10^8 abvoltios 1 V = 1/300 statvoltios	1 abvoltio = 10^{-8} V 1 abvoltio = 1/3 . 10^{10} statvoltio	1 statvoltio = 300 V 1 statvoltio = 3 . 10^{10} abvoltios
Resistencia	R	OHMIO: 1 Ω = 10^9 abohmios 1 Ω = 1/9 . 10^{11}statohmio	1 abohmio = 10^{-9} Ω 1 abohmio = 1/9 . 10^{20} statohmio	1 statohmio = 9 . 10^{11} Ω 1 statohmio = 9 . 10^{20} abohmios
Intensidad	I	AMPERIO: 1 A = 10^{-1} abamperio 1 A = 3 . 10^9 statamperios	1 abamperio = 10 A 1 abamperio = 3 . 10^{10} statamperios	1 statamperio = 1/3 . 10^9 A 1 statamperio = 1/3 . 10^{10} abamperio
Carga o unidad	Q	CULOMBIO: 1 C = 10^{-1} abculombio 1 C = 3 . 10^9 statculombios	1 abculombio = 10 C 1 abculombio = 3 . 10^{12} statculombio	1 statculombio = 1/3 . 10^9 C 1 statculombio = 1/3 . 10^{12} abculombio
Capacidad	C	FARADIO: 1 F = 10^{-9} abfaradio 1 F = 9 . 10^{11} statfaradio	1 abfaradio = 10^9 F 1 abfaradio = 9 . 10^{20} statfaradios	1 statfaradio = 1/9 . 10^{11} F 1 statfaradio = 1/9 . 10^{20} abfaradio
Inductancia	L	HENRIO: 1 H = 10^9 abhenrios 1 H = 1/9 . 10^{11} stathenrio	1 abhenrio = 10^{-9} H 1 abhenrio = 1/9 . 10^{20} stathenrio	1 stathenrio = 9 . 10^{11} H 1 stathenrio = 9 . 10^{20} abhenrios
Energía	W	JULIO: 1 J = 10^7 ergios	1 ergio = 10^{-7} J	1 ergio = 10^{-7} J
Potencia	P	VATIOS: 1 W = 10^7 ergios por seg.	1 ergio por seg. = 10^{-7}W	1 ergio por seg. = 10^{-7} W
Flujo magnético	ϕ	WEBER: 1 Wb = 10^8 maxwells	1 maxwell = 10^{-7}Wb	
Densidad de flujo magnético	B	WEBER POR METRO CUADRADO: 1 Wb/m² = 10^4 gauss	1 gauss = 10^{-4} Wb/m	

TABLA Nº 30 - PREFIJOS, SÍMBOLOS Y MÚLTIPLOS ELECTRÓNICOS

Prefijos	*Símbolos*	*Valores numéricos*	*Valores exponenciales*
tera	*T*	1.000.000.000.000	10^{12}
giga	*G*	1.000.000.000	10^{9}
mega	*M*	1.000.000	
kilo	*K*	1.000	10^{3}
hecto	*H*	100	10^{2}
deca	*dc*	10	10^{1} o 10
deci	*d*	0,1	10^{-1}
centi	*c*	0,01	10^{-2}
mili	*m*	0,001	10^{-3}
micro	μ	0,000.0001	10^{-6}
nano	*n*	0,000.000.001	10^{-9}
pico	*p*	0,000.000.000.001	10^{-12}

TABLA Nº 31 - FACTORES DE CONVERSIÓN PARA MÚLTIPLOS Y SUBMULTIPLOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

↓ →	**Pico-**	**Nano-**	**Micro-**	**Mili-**	**Centi-**	**Deci-**	**Unidad**	**Deca-**	**Hecto-**	**Kilo-**
Pico-		**0.001**	10^{6}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}	10^{-15}
Nano-	**1000**		**0.001**	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}
Micro-	10^{6}	**1000**		**0.001**	**0.0001**	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Mili-	10^{9}	10^{6}	**1000**		**0.1**	**0.01**	**0.001**	**0.0001**	10^{-5}	10^{-6}
Centi-	10^{10}	10^{7}	**10,000**	**10**		**0.1**	**0.01**	**0.001**	**0.0001**	10^{-5}
Deci-	10^{11}	10^{8}	10^{5}	**100**	**10**		**0.1**	**0.01**	**0.001**	**0.0001**
Unidad	10^{12}	10^{9}	10^{6}	**1000**	**100**	**10**		**0.1**	**0.01**	**0.001**
Deca-	10^{13}	10^{10}	10^{7}	**10,000**	**1000**	**100**	**10**		**0.1**	**0.01**
Hecto-	10^{14}	10^{11}	10^{8}	10^{5}	**10,000**	**1000**	**100**	**10**		**0.1**
Kilo-	10^{15}	10^{12}	10^{9}	10^{6}	10^{5}	**10,000**	**1000**	**100**	**10**	

TABLA Nº 32 - ABREVIATURAS ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS

R	resistencia
G	conductancia
ρ	resistencia específica o resistividad
°F	grados Fahrenheit
°C	grados Centígrados
E	tensión
I	corriente
W	potencia
W_s	potencia de salida
W_e	potencia de entrada
η	rendimiento
c.c.	corriente continua
c.a.	corriente alterna
L	inductancia
C	capacidad
t	constante de tiempo
T	tiempo
λ	longitud de onda
f	frecuencia
f_r	frecuencia de resonancia
c/s	ciclos por segundo
kc/s	kilociclos por segundo
Mc/s	megaciclos por segundo
μF	microfaradio
nF	nanofaradio
pF	picofaradio (micro-micro-faradio)
$E_{p\text{-}p}$	tensión de cresta a cresta
V	velocidad
D	distancia
π	3,1416
ω	$2 \times \pi \times f$
α	$\omega\, t$
Q	culombio
RMS	raíz media cuadrática (valor eficaz)
Z	impedancia
X_L	reactancia inductiva
X	reactancia capacitiva
M	inductancia mutua
k	coeficiente de acoplamiento
N_p	número de espiras del primario
N_s	número de espiras del secundario
N_s/N_p	relación de transformación
θ	ángulo de desfase
B	susceptancia
Y	admitancia
pf	factor de potencia
N_b	belios
dB	decibelios
N_n	neperianos
ε	base natural (2,718281)
vu	unidad de volumen
E_c	tensión de placa
E_g	tensión de rejilla
Δ	variación de, incremento de
μ	factor de amplificación
r_p	resistencia de placa
g_m	conductancia mutua
I_p	corriente de placa
C_i	capacidad de entrada
C_{pk}	capacidad interelectródica, placa a cátodo
C_{gk}	capacidad interelectródica, rejilla a cátodo
A	amplificación
β	tensión de realimentación
K	amplificación con realimentación negativa
i_c	corriente del colector
i_e	corriente del emisor
α	ganancia de corriente
β	ganancia de corriente
k	factor de corrección
SWR	relación de onda estacionaria
j	$\sqrt{-1}$ (operador j) (unidad completa)
R_m	resistencia del aparato de medida
n	factor de multiplicación

TABLA Nº 33 - LONGITUD DE ONDA Y BANDAS DE FRECUENCIAS

Frecuencia	Designación	Abreviatura
Por debajo de 30 kc/s	muy baja frecuencia	MBF
30 a 300 kc/s	baja frecuencia	BF
300 a 3.000 kc/s	frecuencia media	MF
3.000 a 30.000 kc/s	alta frecuencia	AF
30 a 300 Mc/s	muy alta frecuencia	VHF
300 a 3.000 Mc/s	ultra alta frecuencia	UHF
3.000 a 30.000 Mc/s	super alta frecuencia	SHF
30.000 a 300.000 Mc/s	extremada alta frecuencia	EHF

TABLA Nº 34 - FRECUENCIAS DE LOS CANALES DE TV

Canal Nº	Frecuencia (Mc/s)	Portadora Video	Portadora Audio
2	54-60	55,25	59,75
3	60-66	61,25	65,75
4	66-72	67,25	71,75
5	76-82	77,25	81,75
6	82-88	83,25	87,75
7	174-180	175,25	179,75
8	180-186	181,25	185,75
9	186-192	187,25	191,75
10	192-198	193,25	197,75
11	198-204	199,25	203,75
12	204-210	205,25	209,75
13	210-216	211,25	215,75
14	470-476	471,25	475,75
15	476-482	477,25	481,75

TABLA Nº 35 - CORRIENTE DE FUSIÓN DE CONDUCTORES

A continuación se han tabulado las corrientes de fusión, en amperes, para cinco tipos de alambres que pueden usarse para fusibles. La corriente que puede fundir a un conductor puede calcularse por medio de la siguiente fórmula empírica: $I = 25{,}4.\ K\ \pi\ d^3$, siendo d el diámetro del conductor en mm y K una constante que depende del tipo de material utilizado. Los valores tabulados deben considerarse sólo aproximados, puesto que son muchos los factores que afectan el resultado final.

Diámetro (mm)	*Cobre* (K = 10,24)	*Aluminio* (K = 7085)	*Alpaca* (K = ?)	*Hierro* (K = 3148)
0,08	1,77	1,31	0,90	0,54
0,10	2,50	1,85	1,27	0,77
0,12	3,62	2,68	1,85	1,11
0,16	5,12	3,79	2,61	1,57
0,20	7,19	5,32	3,67	2,21
0,25	10,2	7,58	5,23	3,15
0,32	14,4	10,7	7,39	4,45
0,40	20,5	15,0	10,5	6,30
0,51	29,0	21,5	15,0	9.00
0,65	41,0	30,5	21,0	12,7
0,80	58,5	43,2	30,0	18,0
0,90	70,0	51,5	35,5	21,5
1,00	83,0	61,5	42,5	25,5
1,15	98,5	73.0	50,2	30,2
1,30	117,0	87,0	60,0	36,0
1,45	140,0	103,0	71,4	43,0
1,65	166,0	123,0	85,0	51,0
1,85	197,0	146,0	101,0	60,7
2,05	235,0	174,0	120,0	72,5
2,30	280,0	207,0	143,0	86,0
2,60	333,0	247,0	170,0	102,0
2,90	396,0	293,0	202.0	122,0
3,25	472,0	349,0	241.0	145,0
3,70	560,0	416,0	287,0	173,0
4,10	668,0	495,0	341,0	205,0

TABLA Nº 36 - PROPIEDADES MECÁNICAS DE METALES EMPLEADOS COMO CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Metal	*Módulo elast. (E)* Kg/mm²	*Límite elast. (E)* Kg/mm²	*Límite rotura (Rr)* Kg/mm²
Aluminio puro (recocido)	7000	15	17
Aluminio templado	7000	—	25
Almelec	7000	24	35
Plata	7500	0,5	16
Cobre recocido	12000	6	24
Cobre templado	13000	20	45
Duraluminio	7000	—	45 a 55
Estaño	5000	—	8
Hierro	20000	20	66
Níquel	22000	9	50
Platino	17000	—	36
Plomo	1700	—	3
Tántalo	18600	—	9,3
Zinc	9000	—	6
Acero común	22000	20 a 60	35 a 100
Acero níquel	20000	50	70 a 80
Bronce fosforoso	12000	—	—
Latón	9200	—	42
Constantán	16300	30	32
Maillechort	10800	—	—
Manganina	12400	—	—
Ferroníquel	——	40	75
Aleación RNC1	18500	35 a 40	65 a 70
Aleación RNC2	20000	40 a 45	70 a 75

TABLA Nº 37 - RESISTENCIA DE ALAMBRES DE COBRE PARA CORRIENTE ALTERNADA DE ALTA FRECUENCIA EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA

Diámetro del hilo (mm)	*Resistencia para la corriente continua*	*Resistencia para la corriente alterna de alta frecuencia para λ metros igual a*						
		100	300	600	1 000	2 000	3 000	6 000
0,2	0,554	0,86	0,61	0,57	0,56	0,56	0,56	0,55
0,4	0,138	0,399	0,245	0,183	0,157	0,143	0,141	0,139
0,6	0,0615	0,257	0,156	0,115	0,093	0,072	0,067	0,063
0,8	0,0346	0,190	0,110	0,083	0,067	0,0498	0,0422	0,0370
1	0,0221	0,151	0,108	0,069	0,052	0,0382	0,0323	0,0254
1,4	0,0113	0,106	0,062	0,045	0,0359	0,0263	0,0221	0,0164
2	0,00554	0,074	0,0432	0,031	0,0245	0,0178	0,0148	0,0110
3	0,00246	0,0497	0,0287	0,0204	0,0160	0,0115	0,0095	0,0069
4	0,00138	0,0366	0,0214	0,0151	0,0118	0,0085	0,0070	0,0051
5	0,000886	0,0292	0,0169	0,0124	0,0094	0,0067	0,0055	0,0040
6	0,000615	0,0243	0,0141	0,0101	0,0078	0,0056	0,00458	0,0033
7	0,000452	0,0208	0,0120	0,0085	0,0067	0,0047	0,00391	0,00281
8	0,000346	0,0182	0,0105	0,0075	0,0058	0,00415	0,00341	0,00244

TABLA Nº 38 - DENSIDAD DE CORRIENTE TOLERABLE EN DISTINTOS TIPOS DE CONTACTOS

Clase de contacto	*Naturaleza de los metales*	*Densidad de la corriente A/cm²*
Por muelles de presión	Cobre-cobre	9 a 10
— —	Latón-cobre	10 a 12,5
— —	Latón-latón	12,5 a 18
Por piezas atornilladas	Cobre-cobre	3,3 a 4,2
— —	Latón-cobre	4,2 a 5,5
— —	Latón-latón	5,5 a 6,5
Por mordazas elásticas	Cobre-cobre	10 a 12
Por escobillas de láminas (presión del orden de 25 g/mm²)	Cobre-cobre	20 a 30
Por escobillas macizas	Latón-cobre	35 a 40
Por deslizamiento (escobillas de máquinas)...	Carbón-cobre	5 a 25 (según presión)
	latón-cobre	3 a 10

TABLA Nº 39 - TENSIÓN DESARROLLADA POR DISTINTOS PARES TERMOELÉCTRICOS

PAR **Cobre-constantán**		*PAR* ***Hierro-constantán***		*PAR* *Platino-platino iridiado*		*PAR* *Platino-platino rodiado*	
F. e. m. mv	**Temp. °C**	**F. e. m. mv**	Temp. °C	F. e. m. mv	Temp. °C	F. e. m. mv	Temp. °C
1	25	5	105	3,44	359	0,6	100
2	49	10	204	7,97	703	1,4	200
3	72	15	299	10,44	895	2,25	300
4	94	20	392	12,44	1019	3,17	400
5	115	25	483	12,91	1054	4,13	500
6	136	30	574			5,14	600
7	156	35	662			6,17	700
8	175	40	749			7,25	800
9	194	45	836			8,34	900
10	213	50	924			9,47	1000
12	250	55	1011			10,62	1100
14	285					11,8	1200
16	319					13,0	1300
18	353					14,1	1400
						15,3	1500

TABLA Nº 40 - ALEACIONES PARA CALEFACTORES ELÉCTRICOS

Nombre	*Composición de la aleación* % aproximadamente	*Resistividad ρ a temperatura próxima a 0-20° C*	*Densidad*	*Temperatura de fusión ° C*	*Coeficiente de temperatura media α entre 0 y los valores usuales de la temperatura* $10^{-4} \times$
Cromin	30 Ni+5 Cr+65 Fe	0,95	7,96	1415	6,2
RNC 1	35 Ni+10 Cr+Fe	1,00	8,05	1450	3,2
NYO	45 Ni+23 Cr+Fe	1,09	—	—	1,8
RNC 2	60 Ni+11 Cr+Fe	1,11	8,25	1450	1,2
Tophet C	60 Ni+15 Cr+25 Fe	1,12	8,20	1350	1,3
Chromel C	60 Ni+16 Cr+23 Fe	1,12	8,24	1405	1,5
Glowray	65 Ni+15 Cr+20 Fe	1,06	8,27	1400	1,4
Nichrome	60 Ni+15 Cr+Fe	1,12	8,25	1350	1,7
BS Cr/Ni/Fe	70 Ni+20 Cr+8 Fe	1,11	8,27	1395	1,1
NYS	75 Ni+23 Cr	1,12	—	—	0,75
BS Cr/Ni	77 Ni+20 Cr+2 Mn	1,10	8,39	1405	0,9
Nichrome V	80 Ni+20 Cr	1,08	8,41	1400	1,3
RNC 3	80 Ni+18 Cr	1,02	8,45	1475	0,6
Uranus 1	82 Ni+14 Cr	1,00	8,50	1450	1,9
Tophet A	80 Ni+20 Cr	1,08	8,42	1390	1,0
Chromel A	80 Ni+20 Cr	1,08	8,40	1405	0,8
Brightray	80 Ni+20 Cr	1,03	8,35	1375	0,5
RCA 33	Fe+Cr+Al	1,38	7,20	1500	0,5
RCA 44	Fe+Cr+Al	1,40	7,10	1500	0,6
Kanthal A_1	Aprox. 62 Fe+23 Cr+5 Al+ +22,5 Co+divers.	1,45	7,10	1530 a 1540	0,6
Kanthal A	Aprox. 69 Fe+23 Cr+4,5 Al+ +2 Co+divers.	1,35	7,20	1530 a 1540	0,8
Kanthal D	Aprox. 72 a 74 Fe+20 a 22 Cr+ +4 Al+1,5 Co+divers.	1,30	7,25	1530 a 1540	1,0
Mégapyr	Aprox. 65 Fe+30 Cr+5 Al	1,44	7,10	—	0,3
Cekas-extra	Fe+Cr+Al	1,40	7,00	—	0,5

***Nota.*—Algunas de las magnitudes que figuran en esta tabla no se conocen con precisión, por lo cual las consignamos sólo a título informativo. En general, las cifras contenidas en la tabla corresponden a valores medios.**

TABLA Nº 41 - VALOR MEDIO DE LA RESISTIVIDAD DE LOS PRINCIPALES AISLANTES

Material dieléctrico	*Resistividad* 6 $(\Omega \times cm^2 \times cm)$
Aceite de colza	10^{18}
Aceite de linaza cocido	5.10^{16}
Aceite de parafina	10^{22}
Aceite para transformadores	1 a 10.10^{19}
Aire seco	Prácticamente infinita
Ambroína	2.10^{17}
Arcilla cocida sin cocinar	10^{16}
Baquelita ordinaria	2.10^{17}
Barniz sterling	2.10^{18}
Betún	8 a 50.10^{19}
Caucho vulcanizado	10^{21}
Celuloide	2 a 80.10^{15}
Cuarzo fundido	5.10^{24}
Ebonita	2 a 30.10^{21}
Fibra roja	2 a 10.10^{13}
Goma laca	9.10^{21}
Gres	3.10^{13}
Gutapercha	1 a 100.10^{19}
Madera parafinada	10 a 100.10^{14}
Madera seca	0,5 a 10.10^{14}
Mármol blanco	2 a 20.10^{15}
Mica	5 a 10.10^{19}
Micanita	5 a 10.10^{17}
Opalina	$1,5.10^{19}$
Papel	1 a 1000.10^{15}
Papel barnizado	1 a 20.10^{17}
Papel parafinado	10^{22}
Parafina	3 a 300.10^{22}
Petróleos	2.10^{22}
Pizarra	2.10^{14}
Porcelana común barnizada a 50° C	2.10^{21}
Porcelana común barnizada a 220° C	6.10^{15}
Prespán	5.10^{14}
Tela aceitada	2 a 5.10^{15}
Vidrio a 45° C	7.10^{21}

TABLA Nº 42 - RIGIDEZ DIELÉCTRICA DE LOS PRINCIPALES AISLANTES INDUSTRIALES

Material	*Espesor*	*Rigidez dieléctrica*
Aceite de linaza	1 cm	80 KV/cm
Aceite de oliva	—	80 ”
Aceites minerales	0,4 cm	80 ”
Aceite p/transformadores	0,2 cm	140 ”
Azufre	—	33 ”
Caucho no vulcanizado	0,08 cm	330 ”
Caucho vulcanizado	0,12 cm	235 ”
Celulosa húmeda	0,03 cm	250 ”
Celulosa seca	0,03 cm	500 ”
Cera	0,025 cm	1100 ”
Cuarzo fundido	0,02 cm	75 a 100 ”
Ebonita	0,20 cm	100 ”
Fibra	2 cm	2 ”
Gutapercha	0,04 cm	230 ”
Mármol blanco	1 cm	14 a 28 ”
Mica	0,1 cm	600 a 750 ”
Micanita	0,03 cm	400 a 500 ”
Ozoquerita	0,06 cm	450 ”
Papel micado	0,02 cm	50 a 175 ”
Papel parafinado	0,01 cm	400 a 500 ”
Papel seco	0,01 cm	40 a 100 ”
Papel untado de cera	0,01 cm	540 ”
Parafina	0,05 cm	600 ”
Pizarra	—	5 ”
Porcelana	1 cm	100 ”
Prespán	1 cm	100 ”
Stabilita	0,1 cm	100 a 150 ”
Trementina	0,08 cm	500 a 750 ”
Vidrio al plomo	0,04 cm	1000 ”
Vidrio común	0,1 a 1,7 cm	75 a 300 ”

TABLA Nº 43 - COMPOSICIÓN DE LOS ACEROS MAGNÉTICOS USUALES

Material	*% C*	*% Mn*	*% P*	*% S*	*% Si*
Hierro Armco	0,015	0,028	0,005	0,025	0,003
Hierro sueco	0,04	0,01	0,028	0,005	0,03
Acero suave moldeado	0,25	0,8	0,06	0,06	0,3
Acero extrasuave	0,1	0,4	0,05	0,05	0,25
Acero suave	0,25	0,4	0,05	0,05	0,25

TABLA Nº 44 - PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE CHAPAS DE HIERRO SILICIO CON GRANO ORIENTADO

Propiedad	*Paralela a la dirección del laminado*	*Perpendicular a la dirección del laminado*
Permeabilidad máx.	116.000	65.000
Campo coerc. (oerst.)	0,07	0,08
Ind. reman. (gauss)	12.200	11.500
B para H = 2 oersted	16.000	16.000

TABLA Nº 45 - PROPIEDADES DE ALEACIONES PARA IMANES PERMANENTES

Aleación	Composición %	B_r (gauss)	H_c (oersteds)	$(BH)_{máx.}$ (M.G.O.)
Acero 1 % C	1 C, 0,50 Mn	9.000	51	0,20
Acero 5 % W	0,70 C, 5 W	10.500	70	0,33
Acero 6 % Cr	1,1 C, 6 Cr. 0,40 Mn	9.500	74	0,30
Acero 9 % Co	0,9 C, 9 Co, 1,25 W, 5 Cr	7.800	122	0,41
Acero 17 % Co	0,7 C, 17 Co, 8,25 W, 2,5 Cr	9.000	170	0,65
Acero 36 % Co	0,8 C, 36 Co, 3,75 W, 5,75 Cr	9.600	228	0,93
Cunico I	50 Cu, 21 Ni, 29 Co	3.400	710	0,85
Cunico II	35 Cu, 24 Ni, 41 Co	5.300	450	0,99
Cunife I	60 Cu, 20 Ni, 20 Fe	5.700	590	1,85
Cunife II	50 Cu, 20 Ni, 2,5 Co, 27,5 Fe	7.300	260	0,78
Remalloy	12 Co, 17 Mo, 71 Fe	10.000	230	1,00
Vicalloy I	52 Co, 9,5 V, 38,5 Fe	9.000	300	1,00
Vicalloy II	52 Co, 13 V, 35 Fe	10.000	450	3.00
Alni (normal)	13 Al, 25 Ni, 4 Cu, 58 Fe	5.600	580	1,25
Alni (gran coerc.)	13 Al, 27 Ni, 4 Cu, 56 Fe	5.000	680	1,25
Alni (gran rem.)	13 Al, 24 Ni, 4 Cu, 59 Fe	6.200	480	1,25
Alnico I	**12 Al, 22,5 Ni, 5 Co, 60,5 Fe**	6.600	540	1,40
Alnico II	**10 Al, 18 Ni, 13 Co, 6 Cu, 53 Fe**	7.000	650	1,70
Alnico III	**12 Al, 26 Ni, 3 Cu, 59 Fe**	6.400	560	1,35
Alnico IV	**12 Al, 28 Ni, 5 Co, 55 Fe**	5.500	730	1,35
Alnico V	**8 Al, 15 Ni, 24 Co, 3 Cu, 50 Fe**	12.000	720	5,00
Alnico VI	**8 Al, 17 Ni, 23 Co, 3 Cu, 4 Ti, 45 Fe**	7.500	975	2,75
Alnico VII	**8,5 Al, 18 Ni, 24 Co, 3,25 Cu, 5 Ti**	7.500	1.100	3,00
Alnico VIII	**7 Al, 15 Ni, 35 Co, 4 Cu, 5 Ti, 34 Fe**	8.700	1.450	5,20
Ticonal F	**8 Al, 14 Ni, 24 Co, 3 Cu, 0,5 Ti, 50,5 Fe**	12.400	600	4,80
Ticonal G	**8 Al, 15 Ni, 24 Co, 3 Cu, 50 Fe**	13.000	600	5,10
Hycomax	**7 Al, 14,5 Ni, 19,5 Co, 1,5 Cu, 57,5 Fe**	13.500	550	5,00
Alcomax II	**8 Al, 11,5 Ni, 21 Co, 4 Cu, 57,5 Fe**	13.700	600	5,90
Alcomax III	**8 Al, 13,5 Ni, 24 Co, 3 Cu, 0,5 Nb, 51 Fe**	13.200	700	6,10
Alcomax IV	**8 Al, 13,5 Ni, 24 Co, 3 Cu, 2 Nb, 49,5 Fe**	12.200	780	5,20
Ticonal G X	**8 Al, 14 Ni, 24 Co, 3 Cu, 51 Fe**	13.400	780	7,50

TABLA Nº 46 - PROPIEDADES DE MATERIALES MAGNÉTICOS VARIOS

Materiales magnetostrictivos	μ_r	k^2		
Níquel	160	0,30	μ_r = permeabilidad reversible.	
Cobalto-níquel	250	0,59	k^2 = coeficiente de acoplamiento: rendimiento de conversión.	
Cobalto-hierro, Permendur	55	0,25		
Hierro-aluminio (13 %) Alfer	—	0,22		
Ferrita (níquel-cobalto)	—	0,23		
Materiales para registro magnético	B_r (gauss)	H_c (oersted)	K^2	Aspecto
Acero al carbono	9.000	50	1,0	hilo o cinta.
Acero al volframio (5 %)	10.000	65	1,2	hilo o cinta.
Cunife	6.000	500	15,0	cinta.
Níquel-cobalto	10.000	200	3,5	depositado sobre hilo o cinta de latón.
Acero inoxidable Cr-Ni (18-8)	300-600	200-400	30-60	hilo tratado térmicamente.
Plástico impregnado de óxido de hierro (Fe_2O_3 o Fe_3O_4)	300-800	100-400	60-90	cinta.

Materiales amagnéticos	Permeabilidad	Resistividad (Ω.m)	Resistencia a la tracción (ton/cm²)
Aceros			
8 % Ni, 8 % Mn, 8 % Cr	1.003	0,76	9
10 % Ni, 5 % Mn, 4 % Cr	1,008-1,03		10
8 % Ni, 18 % Cr	1,005-1,03	0,72	7
Fundiciones			
Nomag 6 % Mn, 10 % Ni	1,03	1,50	1,8-2,6
Ni - Resit 14 % Ni, 7 % Cu, 1,5 % Mn 2 % Cr	1,03	1,40	1,5-2,2

Aleaciones compensadoras	permeabilidad para H = 100 oersted			
Hierro-níquel (30 % Ni)	a -40 °C	μ = 50	a 60 °C	μ = 5,0
Níquel-cobre (70 % Ni) Jae	a -40 °C	μ = 20	a 40 °C	μ = 5,0

ÍNDICE ALFABÉTICO

Otras obras técnicas publicadas por EDICIONES GLEM S. A.

Av. Caseros 2056 1264 Buenos Aires (R. A.)

CURSO BASICO DE RADIO, Marvin Tepper, 10ª edición.
Vol. 1: Electricidad C.C., 10ª edición.
Vol. 2: Electricidad C.A., 10ª edición.
Vol. 3: Válvulas electrónicas y circuitos, 10ª edición.
Vol. 4: Receptores de AM y FM, 10ª edición.
Vol. 5: Transistores, 10ª edición.
CURSO BASICO DE ARMADO DE RADIOS A TRANSISTORES, A. Giordano (Enc.) 5ª edición. Ampliada con circuitos.
REPARACION PRACTICA DE TELEVISORES, Gernsback Libr., 7ª edición.
CURSO BASICO DE T.V. (Circuitos a transistores, T. V. colores), enc., por John Brow, 6ª edición completamente ampliada.
CURSO BASICO DE ANTENAS, Alberto Giordano (encuadern.), 6ª edición.
MANUAL UNIVERSAL DE CIRCUITOS DE TELEVISORES, Glem, 5ª edición.
REPARACION PRACTICA DE T.V., Glem (enc.).
RELAYS, Harvey Pollack, Principios básicos y sus aplicaciones, 4ª edición.
CURSO BASICO DE MOTORES ELECTRICOS, Alan Smith, 3ª edición.
CURSO BASICO DE INSTRUMENTOS PARA MEDICIONES ELECTRICAS, C. A. Miraglia, 2ª edición. Enc.
MANUAL UNIVERSAL DE TRANSISTORES Y REEMPLAZOS, (Enc. plást.), 9ª ed. ca), ampliada y actualizada.
MANUAL UNIVERSAL D ETRANSISTORES Y REEMPLAZOS, (Enc. plást.), 9ª ed.
CURSO BASICO DE DIBUJO TECNICO, Henry Foster (Enc.), 2ª edición.
SERVICE DE GRABADORES, C. A. Tuthill, (Enc.), 2ª edición.
PARLANTES Y BAFFLES DE ALTA FIDELIDAD, A. B. Cohen, (Enc.), 2ª ed.
ELECTRICIDAD DEL AUTOMOVIL, Glem (Enc.), 3ª ed. ampliada con alternadores.
VADEMECUM DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA, Glem, (Enc.), 2ª edición.
CIRCUITOS MODERNOS DE AMPLIFICADORES, Glem (Enc.), 3ª edición.
SISTEMA DE DIFUSION SONORA PARA GRANDES AMBIENTES, Norman H. Crowhurst (Enc.).
RECTIFICADORES CONTROLADOS DE SILICIO, Saúl Heller, (Enc.).
COMPUTADORAS Y AUTOMATIZACION, John A. Brown.
PROYECTOS MODERNOS CON TRANSISTORES, Glem (Enc.), 3ª edición.
CURSO BASICO DE COMPUTADORAS DIGITALES, John S. Murphy, 3 volúmenes, 2ª edición.
CURSO BASICO DE SISTEMAS CONMUTADORES TELEFONICOS, David Talley.
CURSO SUPERIOR DE INSTRUMENTAL ELECTRONICO, Sol D. Prensky (Enc.), 2ª edición.
CURSO COMPLETO DE AIRE ACONDICIONADO, Schwitzer y Ebeling, 2 vols. (End. en un tomo).
COMUNICACION MODERNA DE DATOS, William Davenport (Enc.), 2ª edición.
TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE LA ENERGIA ELECTRICA, 2 vol. en 1 tomo, Pansini (Enc.).
CURSO BASICO DE ELECTRICIDAD PRACTICA, Glem, (Enc.), 2ª edición.
CURSO BASICO DE ELECTRONICA PRACTICA, A. Giordano (Enc.), 2ª edición.
CURSO COMPLETO DE INSTALACIONES ELECTRICAS, H. Miller (Enc.).
PROYECTOS CON CIRCUITOS INTEGRADOS, (Enc.).
LA MOTOCICLETA AL ALCANCE DE TODOS, por Max Alth, (Enc.).
YATES, VELEROS Y LANCHAS, por John Duffertt, (Enc.).
CIRCUITOS IMPRESOS, 3ª Ed., M. Moses, 1979.
CIRCUITOS EXPLICADOS DE RECEPTORES DE RADIO.